УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМЕНИ И. Н. УЛЬЯНОВА

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

ТОМ XVI

УЛЬЯНОВСК
1959

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМЕНИ И. Н. УЛЬЯНОВА

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

ТОМ XVI

УЛЬЯНОВСК
1959

МАТЕМАТИКА И
МЕТОДИКА МАТЕМАТИКИ

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

И. А. КОЛОМАРОВ

К ВОПРОСУ О ПРЕПОДАВАНИИ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ В ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ИНСТИТУТАХ

Преподавание высшей математики в педагогических институтах преследует две основные цели: повышение уровня общего математического развития и помощь в углубленном изучении элементарной математики.

Высшая алгебра, являясь одной из основных математических дисциплин, при методически правильном и логически обоснованном построении курса способствует достижению первой цели. Еще больше она способствует выполнению второй цели, являясь естественным развитием школьного курса алгебры. Высшая алгебра имеет дело с теми же объектами, что и элементарная алгебра (системы линейных уравнений, комплексные числа, многочлены, уравнения) и интересуется теми же вопросами (решение уравнений и системы уравнений, приближенные вычисления и т. п.). Таким образом, высшая алгебра способствует не только косвенно, но и непосредственно лучшему овладению будущими преподавателями материалом школьного курса математики, при этом в выполнении последней задачи высшая алгебра дает помощь большую, чем другие дисциплины высшей математики. И все же, несмотря на все это, место, отводимое высшей алгебре в учебных планах, не соответствует ее роли и возможности. Далеко недостаточно число часов, отводимое для этой дисциплины. Увеличение числа часов на изучение высшей алгебры дало бы возможность включить целый ряд вопросов и даже разделов: интерполяции, квадратичные формы, усиление раздела приближенных вычислений, разрешимость в радикалах алгебраических уравнений.

Недостаток часов, отводимых для высшей алгебры, не дает возможности для решения всех многочисленных типов алгебраических задач, полезных будущему преподавателю.

Действующая программа по высшей алгебре вполне соответствует отведенному учебным планом количеству часов. В расположение же материала следовало бы внести некоторые изменения. После пункта 7-го (Линейные преобразования неизвестных и квадратные матрицы) можно рассмотреть пункт 20-ый (Определение группы и простейшие ее свойства), после чего уже перейти к пункту 8-му (Кольца и поля). Кроме того, пункт 17-ь (Нахождение рациональных корней уравнения) нужно включить в пункт 11- и рассмотреть после деления многочлена на линейный двучлен X—A. Целесообразность такого перемещения будет рассмотрена несколько позднее.

ЛИНЕЙНАЯ АЛГЕБРА

Основным вопросом в преподавании линейной алгебры является исследование систем линейных уравнений. Теорию систем линейных уравнений целесообразнее всего излагать на базе теории линейной зависимости.

Рассмотрение систем линейных уравнений нужно начать, как это и рекомендуется программой, с простейших случаев, т. е. с решения системы линейных уравнений, с которыми студенты имели дело еще в средней школе. Здесь даже не нужно решать систем, а только напомнить те способы решения систем линейных уравнений, которые уже известны студентам (способы подстановки и алгебраического сложения), необходимо напомнить также равносильность систем линейных уравнений. Сведение систем к треугольной форме (полной и усеченной) нужно рассмотреть более подробно, так как эта задача в курсе математики средней школы не рассматривалась. Хотя никакого нового способа решения мы здесь и не имеем, но сведение системы к треугольной форме, определение в этой форме ее характера, ее решение—представляет для студентов что-то новое, и они с удовольствием решают такие задачи. Решение некоторых систем приводит к неопределенному уравнению первой степени с двумя неизвестными. Первокурсники почти ничего не знают о таких уравнениях. Они не знают, когда такое уравнение имеет целые решения, как находятся эти целые решения. Здесь нужно коротко изложить студентам, когда уравнение имеет целые решения, рассмотрев случаи:

1) $ax + by = c$, $(a,b) = 1$;
2) $ax + by = c$, $(a,b) = d$,
но c не делится на d;
3) $ax + by = c$, $(a,b) = d$
и c делится на d;
4) $ax + by = c$
при условии, что один из коэффициентов при неизвестных равен единице;
5) $ax + by = 0$

После этого нужно рассказать студентам, как при помощи алгоритма Евклида решаются такие уравнения и в целых числах. На все это уйдет 1,5—2 часа времени, зато студенты получат то, без чего в дальнейшем им трудно обойтись.

Далее нужно рассмотреть систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными, провести исследования этой системы, обратив внимание на внешние признаки того или иного характера системы, и получить определители 2-го порядка с их основными свойствами.

Затем нужно остановиться на решении системы двух линейных однородных уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = 0 \\ a_2x + b_2y + c_2z = 0 \end{cases}$$

и найти отношение неизвестных этой системы

$$x : y : z = \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_2 & c_2 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} c_1 & a_1 \\ c_2 & a_2 \end{vmatrix} : \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}$$

После этого, используя предыдущий результат, решается система трех линейных уравнений с тремя неизвестными и получаются определители 3-го порядка.

Не останавливаясь подробно на исследовании последней системы и свойствах определителя 3-го порядка, нужно рассмотреть структуру определителей 2-го и 3-го порядков, введя систему двойных индексов, обратить внимание на роль перестановок в этом вопросе.

Перестановки и транспозиции особенно подробно рассматривать не следует. Основное внимание здесь нужно обратить на теорему о транспозициях («Всякая транспозиция меняет характер перестановки») и на теорему, что «Из числа всех перестановок из n элементов ровно половина будет четных и половина нечетных».

На подстановках нужно остановиться несколько подроб-

нее, рассмотрев различные формы записи подстановок (обычную циклическую, в форме произведения только двучленных циклов). Умножение подстановок нужно уметь производить во всех формах их записи. Нужно уделить должное внимание понятиям тождественной и обратной подстановок. В дальнейшем подстановки дадут один из примеров группы относительно умножения.

На основании замеченной закономерности при изучении структуры определителей второго и третьего порядка, обобщается понятие определителя. Дав понятие квадратной матрицы, вводится определение определителя n-го порядка, причем в этом определении нужно установить равноправность строк и столбцов.

Определение. Пусть из n^2 элементов a_{ij}, где i; j=1, 2, 3,..., n составлена квадратная матрица M и пусть из этой матрицы составлены всевозможные произведения, в каждое из которых войдет по одному и только по одному представителю от каждой строки и каждого столбца матрицы M, причем знак каждого произведения определяется $(-1)^t$, где t — число инверсий в перестановке, составленной из вторых индексов, когда первые идут в натуральном порядке, или же t — число инверсий в перестановке первых индексов, когда вторые расположены в натуральном порядке. Алгебраическая сумма всех таких произведений и называется определителем n-го порядка.

Обозначив этот определитель через D, будем по определению иметь:

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} = \Sigma (-1)^t a_{1\alpha} a_{2\beta} \dots a_{n\lambda} = \Sigma (-1)^t a_{\alpha_1} a_{\beta_2} \dots a_{\lambda_n}$$

$\alpha, \beta, \dots, \lambda$ изменяются от 1 по n.

Свойства определителей можно рассмотреть в таком порядке:

1. Определитель не изменится, если поменять у него местами строки и столбцы.

2. Определитель изменит свой знак на противоположный, если поменять у него местами две строки или два столбца.

3. Общего множителя элементов строки или столбца можно выносить за знак определителя.

4. Определитель равен нулю, если соответственные элементы двух его параллельных рядов равны или пропорциональны.

5. Если элементы какого-либо ряда определителя представляют суммы К слагаемых, то этот определитель можно представить в виде суммы К определителей, отличающихся друг от друга только элементами этого ряда.

6. Определитель не изменится, если к элементам какого-либо ряда прибавить соответственные элементы другого, параллельного ему ряда, умноженные на одно и то же число.

Особое внимание нужно уделить последнему свойству, показав здесь же и его основное назначение на одном—двух примерах.

Понятия алгебраического дополнения элемента определителя и его минора нужно ввести, раскрыв определитель 3-го порядка и вынеся элементы какого-либо ряда за скобки. Здесь же можно установить зависимость между минорами и алгебраическими дополнениями элементов определителя 3-го порядка. Установив эту зависимость, можно ввести понятие и о разложении определителя 3-го порядка по элементам ряда.

После этого нужно установить зависимость между минором и алгебраическим дополнением сначала для элемента a_{11}, затем для любого элемента a_{ik} определителя n-го порядка

$A_{ik} = (-1)^{i+k} \cdot M_{ik}$).

Далее доказываются три теоремы об определителях:

1. Теорема об определителе, в котором все элементы какого-либо ряда, кроме одного, равны нулю.

2. Теорема о разложении определителя по элементам какого-либо ряда.

3. Теорема о сумме произведений элементов какого-либо ряда на алгебраические дополнения соответствующих элементов другого, параллельного ему ряда.

После рассмотрения этих теорем нужно рассмотреть приемы раскрытия определителей, обратив особое внимание на раскрытие буквенных определителей. При этом нужно рассмотреть определитель Вандермонда, треугольный определитель.

Хотя в программе теорема Лапласа и не указана, но нужно найти время для рассмотрения этой теоремы, т. к. она дает еще один способ раскрытия определителей и дает возможность представить произведения двух определителей в виде одного определителя.

После рассмотрения всего этого можно перейти к системе n линейных уравнений с n неизвестными, рассмотреть случай, когда главный определитель системы не равен нулю, и полу-

чить формулы Крамера. Здесь же нужно ввести понятие ранга матрицы. В заключение этого раздела можно, для указанного выше случая, рассмотреть и систему n линейных однородных уравнений с n неизвестными.

Основной вопрос линейной алгебры — исследование системы линейных уравнений, желательно излагать на базе теории линейной зависимости. Теория линейной зависимости может строиться в различных областях: в произвольном линейном пространстве или для n-мерных векторов, или как линейная зависимость форм. Целесообразнее всего рассматривать линейную зависимость функций, так как это приводит к наиболее естественному и непосредственному применению этой теории к решению и исследованию систем линейных уравнений. Рассмотрение же теории линейной зависимости в произвольном линейном пространстве вызывает большие методические затруднения и заводит слишком далеко от рассматриваемого вопроса.

Рассмотрев линейную зависимость функций, нужно будет указать, что эта теория справедлива для элементов любого множества, лишь бы для них были установлены действия сложения и умножения на число. В качестве примера можно рассмотреть n-мерные векторы и n-мерное векторное пространство. Причем особенно подробно останавливаться на этом не следует, нужно ограничиться только введением определений, установлением соответствующих действий и распространением на n-мерные векторы линейной зависимости.

Определение ранга матрицы было дано еще при получении формул Крамера. Установив при рассмотрении линейной зависимости функций зависимости между рангом матрицы и числом линейно независимых функций, нужно поставить задачи о наиболее простом и быстром вычислении ранга матрицы. Для этого достаточно рассмотреть две теоремы: теорему об элементарных преобразованиях, не изменяющих ранга матрицы, и теорему о том, что ранг матрицы равен порядку неравного нулю определителя, составленного из этой матрицы, при условии, что всеобъемлющие его определители равны нулю.

Способов вычисления ранга матрицы, вытекающих из этих теорем, вполне достаточно для студентов.

Здесь же нужно указать студентам, что установленные ранее условия равенства нулю определителя являются частными случаями более общего необходимого и достаточного условия равенства нулю определителя, вытекающего из линейной зависимости.

При исследовании и решении систем линейных неоднородных уравнений желательно рассмотрение следующих случаев:

1. Система n линейных уравнений с n неизвестными, когда ранг матрицы, составленной из коэффициентов системы, равен n (этот случай был рассмотрен ранее и о нем здесь только делается напоминание).

2. Система m линейных уравнений с n неизвестными при условии, что $m<n$ и ранг матрицы равен m.

3. Система m линейных уравнений с n неизвестными при условии, что $m<n$ и ранг матрицы равен r, где $r \angle m$.

Этот случай, когда не все уравнения участвуют в решении данной системы, может привести к несовместной системе. Поэтому здесь и нужно получить критерий совместимости системы линейных уравнений.

4. Система, в которой число уравнений больше числа неизвестных, сводится к предыдущему случаю при некотором изменении условий ($m>n$, $r \leqslant n \angle m$).

В заключение нужно подчеркнуть, к чему же сводится исследование и решение любой системы линейных уравнений.

При рассмотрении системы линейных однородных уравнений необходимо подчеркнуть, что такие системы всегда имеют нулевые решения, следовательно, они всегда совместны. Далее, нужно обратить внимание на условия существования ненулевых решений.

Желательно остановиться на решении системы n линейных однородных уравнений с n неизвестными, когда ранг матрицы этой системы равен $n-1$. Ясно, что решение такой системы сводится к отысканию ненулевых решений. Решая эту систему как обычную, неоднородную систему, мы выразим неизвестные этой системы через одно — «свободное» неизвестное или же, определив отношение неизвестных к этому «свободному» неизвестному, найдем отношение неизвестных этой системы:

$$x_1 : x_2 : \ldots : x_n = \alpha_1 : \alpha_2 : \ldots : \alpha_n$$

Дальше нужно указать, что вместо чисел $\alpha_1 \alpha_2, \ldots \alpha_n$ можно взять алгебраические дополнения элементов любой строки определителя, составленного из матрицы данной системы:

$$x_1 : x_2 : \ldots : x_n = A_1 : A_2 : \ldots : A_n.$$

Решение линейных однородных систем этого случая ($r=n-1$) нужно и сводить к отысканию алгебраических дополнений любой строки указанного определителя.

Здесь же нужно указать, что почти так же решается систе-

ма (n—1)-го линейного однородного уравнения с n неизвестными, когда ранг матрицы этой системы равен n—1. Нужно только матрицу этой системы дополнить одной строкой, состоящей из одних нулей. В определителе, составленном из этой последней матрицы, нужно найти алгебраические дополнения элементов последней строки этого определителя, — они и дадут числа, пропорциональные неизвестным данной системы: $x_1 : x_2 : \ldots : x_n = A_{n1} : A_{n2} : \ldots : A_{nn}$.

Далее, полезно ввести понятие фундаментальной системы решений и рассмотреть теорему о числе решений, входящих в фундаментальную систему решений. Хотя этот вопрос и не входит в программу, все же познакомить студентов с ним очень желательно.

Следующий вопрос программы — линейные преобразования неизвестных и квадратные матрицы—нужно рассмотреть так, чтобы в дальнейшем, во-первых, невырождающиеся матрицы можно было приводить в качестве примера группы, и, во-вторых, в качестве примера некоммутативного кольца можно было бы привести кольцо матриц.

Далее, прежде чем перейти к изучению пункта восьмого программы (кольца и поля), целесообразнее рассмотреть предварительно пункт двадцатый (группа и ее свойства). Студенты уже знают достаточно примеров, приводящих к понятию группы как относительно умножения, так и относительно сложения. Кроме того, если студенты будут знакомы с группой, ее свойствами и изоморфизмом групп, им лучше и легче будет рассматривать вопрос о кольцах и полях.

При рассмотрении этого вопроса ясно, что основное внимание должно быть уделено группе относительно умножения. Нужно как можно больше привести примеров конечных и бесконечных групп. После рассмотрения простейших свойств группы относительно умножения нужно ввести понятие подгруппы (собственной и несобственной), привести примеры групп, имеющих собственные подгруппы. Наряду с введением понятия изоморфизма групп нужно рассмотреть и основные свойства изоморфных групп.

После этого, исходя из понятия группы, можно ввести понятие кольца, привести примеры колец.

Далее дается определение поля, приводятся примеры полей. Введя понятие подкольца и подполя, можно коротко остановиться на изоморфизме колец и полей. В восьмом же пункте нужно рассмотреть расширение колец и полей. Здесь только

нужно дать определение, что значит расширить поле (или кольцо) и рассмотреть два примера расширений полей:

1) расширить поле рациональных чисел при помощи элемента. $\sqrt{p}$, (p—простое число),

2) расширить поле действительных чисел при помощи элемента i сего **основным свойством** $i^2 = -1$.

В заключение нужно дать понятие о современной алгебре, подчеркнуть роль и значение отечественных математиков как в развитии теории групп (Чеботарев и его школа, Понтрягин, Мальцев), так и в развитии вообще алгебры (Золотарев, Граве, Шмидт, Чеботарев, Делоне, Мальцев).

При прохождении курса высшей алгебры большое внимание следует уделять решению примеров и задач. Все изучаемые в линейной алгебре вопросы допускают многие применения к конкретным примерам. Таких примеров нужно рассматривать как можно больше: в лекциях (в меньшей мере), во время практических занятий в заданиях на дом. Только в том случае, когда студент будет ясно понимать, как конкретизируется то или иное предложение в отдельных частных случаях и на отдельных конкретных примерах, теоретический материал даст возможность будущему преподавателю ориентироваться в том материале, с которым ему придется иметь дело в школе.

При решении систем линейных уравнений полезно обращение к геометрической иллюстрации.

Ввиду того, что в основном курсе высшей алгебры знакомство с понятиями абстрактной алгебры идет в обзорном порядке и ограничивается небольшим числом понятий, нужно найти время для ознакомления студентов с основами современной алгебры (хотя бы в объеме учебника Л. Я. Окунева «Основы современной алгебры»). Это можно сделать или на VI семестре в рамках спецсеминара или же в порядке факультативного курса.

Так как конечной задачей этого курса является разрешимость алгебраических уравнений в радикалах, то целесообразность его для будущего преподавателя математики очевидна.

ФИЗИКА И МЕТОДИКА ФИЗИКИ

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

И. С. ФРОЛОВ

ФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Практика показывает, что учащиеся средних школ и многие студенты пединститутов не умеют определять степень точности произведенных измерений. Часто можно встретить в тетрадях учащихся средней и высшей школы записи примерно такого содержания: произведение давления на объем равно 1989,3648 (по закону Бойля-Мариотта), плотность меди 8,61495 и т. д. Почти во всех школах учителя не обращают внимания на погрешности измерений и не учат тому, как обрабатывать и оценивать результаты измерений. Одной из причин такого ненормального явления следует считать отсутствие достаточных руководств по данному вопросу.

Мы поставили перед собой задачу оказать помощь учителю школы и студенту пединститута в оценке точности физических измерений.

§ 1. Эталоны. Классификация и методы измерений

В процессе измерений устанавливается численное отношение между измеряемой величиной и принятой единицей измерения, масштабом или эталоном.

Эталоны — это образцовые меры и образцовые измерительные приборы, служащие для воспроизведения, хранения и передачи единиц измерения с наивысшей при данном состоянии науки и техники степенью точности.

К эталонам предъявляются высокие требования: наряду с максимально возможной точностью они должны характеризоваться исключительной неизменяемостью.

Неизменяемость эталонов зависит от выбора материала, от формы и от соединения частей. Так, эталоны метра, изготовлены из платино-иридиевого сплава (90% платины и 10% иридия), характеризующегося весьма большой твердостью, прочностью, тугоплавкостью, чрезвычайно малой подверженностью износу, старению и коррозии, а также малым коэффициентом теплового расширения. Сечениям эталонов длины придана X -образная форма, обеспечивающая при малом весе и малой толщине большую жесткость, ничтожный изгиб от собственного веса и быстрое выравнивание температуры.

К эталонам основных единиц относят эталоны метра и килограмма. Существуют эталоны и других физических величин — времени, частоты, сопротивления, напряжения, емкости, индуктивности и т. д.

Первоначально эталоны определяли как меры практически неизменных объектов природы. Так, за килограмм массы принимали массу 1 дм^3 чистой воды при ее наибольшей плотности; за метр — 1/10 000 000 часть четверти Парижского меридиана; за секунду — 1/86 400 средних солнечных суток.

Однако в связи с развитием техники измерений и повышением точности измерений «естественные» эталоны должны были изменяться при каждом новом более точном измерении объектов природы, взятых для их установления. Например, пришлось бы изготовлять новые эталоны метра при каждом более точном измерении длины 1.10^{-7} четверти Парижского меридиана. Поэтому было решено за эталоны принять нечто совершенно неизменное, раз и навсегда установленное международным соглашением. Теперь единица метр определяется реальной длиной международного эталона метра, а единица килограмм-массы определяется международным эталоном массы. Следовательно, эталоны длины и массы сами определяют единицы длины и массы. Эталон килограмма стал считаться самостоятельным и независимым от эталона метра, между тем по первоначальному определению за килограмм-массы принимали массу чистой воды в объеме 1.10^{-3}м^3.

Советский Союз обладает высококачественными эталонами различных единиц измерения, хранимыми во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологии имени Д. И. Менделеева в Ленинграде (ВНИИМ). Отечественные эталоны периодически сличаются с международными эталонами, хранящимися в Международном бюро мер и весов в Севре (Франция). ВНИИМ имеет в своем составе 27 лабораторий, оборудованных точнейшими и уникальными измерительными

приборами, экспериментальный завод и конструкторское бюро. В нем хранятся государственные эталоны длины, массы, времени, частоты электрического тока, напряженности магнитного поля и магнитного потока, сопротивления, напряжения, светового потока, силы света и т. д.

ВНИИМ разрабатывает единицы измерений и системы единиц измерений; воспроизводит все единицы измерений с наивысшей точностью; производит точные определения важнейших физических постоянных. Он был создан в 1934 году на базе Главной палаты мер и весов, организованной Менделеевым в 1893 году.

Д. И. Менделеев, очень много сделавший для развития учения о мерах, писал: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры».

В Советском Союзе эталоном килограмм-массы является масса платино-иридиевой меры со знаком № 12. Эта мера имеет форму цилиндра высотой 39 мм и диаметром 39 мм, ее масса равна 1 кг + 0,668 мг ± 0,002 мг.

Эталон метра определяется как расстояние при 0° между двумя штрихами, нанесенными на стержне из иридиевой платины. Для выбора эталона метра был изготовлен 31 образец, из которых № 6 принят в качестве международного прототипа метра. В СССР за единицу измерения длины принят эталон метра, носящий знак «28».

Учитывая возможность изменения расстояния между штрихами, определяющими длину метра эталона, международная конференция по мерам и весам еще в 1895 году постановила «естественным прототипом метра считать отношение метра к длинам световых волн». Принимая за эталон длин световых волн длину красной линии λR спектра паров кадмия, для метра получили величину, равную 1552734,83 λR. Эталон длины в виде длины световой волны легко воспроизводим, не может быть утрачен и устойчив во времени. Этим он выгодно отличается от нынешнего эталона метра.

С помощью измерений человек познает объективный мир, взаимосвязь между телами и явлениями природы. Измерение атомных весов и изучение свойств химических элементов привело Д. И. Менделеева к открытию великого закона природы — периодического закона химических элементов. Исследование спектров и измерение длин волн спектральных линий способствовало развитию учения о строении атома. С помощью измерений открываются новые законы природы и выражаются они в виде законов физики, химии и других наук.

Велика роль всевозможных измерений особенно в наше время, в эпоху техники сверхвысоких скоростей, давлений и температур, электрификации и автоматизации производства, ядерной энергии, ракетной техники, космических полетов, радиоэлектроники, полупроводников.

Современные точные методы измерений и соответствующие средства измерений — приборы и установки—возникли в результате длительного исторического развития физики, техники и всего естествознания. В настоящее время техника измерений достигла весьма высокого уровня. Теперь физики могут с большой точностью определить размеры и массы электрона, протона и других микрочастиц, а также гигантских космических тел; огромные скорости частиц, близкие к скорости света в пустоте; промежутки времени, измеряемые микросекундами и многими миллионами световых лет и т. д. и т. д. Об исключительно высокой степени точности современных измерений говорит приведенная в конце статьи таблица значений мировых постоянных.

Достижения науки в значительной степени зависят от уровня развития измерительной техники. В свою очередь развитие науки обусловливает новые пути и возможности для совершенствования измерительной техники. Аналогичным образом современное производство немыслимо без использования сложной измерительной техники, развитие которой определяется уровнем развития производства.

В процессе измерения получается число, которое будет тем больше, чем меньше единица измерения и наоборот. Так, при измерении некоторой длины сантиметрами получается число в сто раз больше, чем при измерении ее метрами. Второй пример возьмем из электричества. Так как электростатическая единица тока меньше электромагнитной в $3 \cdot 10^{10}$ раз, то J_e, выражающее ток в системе CGSE, больше числа J_m, выражающего тот же ток в системе CGSM, в $3 \cdot 10^{10}$ раз. Иначе говоря $J_e = c\,J_m$, где c — скорость света в пустоте, равная $3 \cdot 10^{10}$ см/сек.

Результаты измерений можно выразить соотношением: $A = aU$, где A—измеряемая величина, a—численное значение измеряемой величины, U — единица измерений. A и U являются однородными положительными скалярными величинами, множитель a — положительное действительное число рациональное или иррациональное. Когда величины A и U соизмеримы, число a — рационально; при несоизмеримых величинах

A и U множитель a — иррационален, например, равен π, если A длина окружности, a U — ее диаметр.

Различают измерения прямые, косвенные и совокупные.

В процессе прямых измерений искомое значение измеряемой величины находится сравнением ее с единицей измерений или путем непосредственного отсчета показаний измерительного прибора. Например, длину предмета можно определить с помощью линейки, напряжение — при помощи вольтметра, ток—амперметром и т. п.

Однако бывают и такие измерения, когда искомое значение измеряемой величины вычисляется через другие величины, связанные с искомой некоторым уравнением, определяемые путем прямых измерений. Так, объем цилиндра выражается через его диаметр и высоту. Определив диаметр и высоту путем прямых измерений, находят объем посредством вычислений. Такие измерения называются косвенными. В отличие от прямых измерений при косвенных измеряется несколько величин и затем искомую величину вычисляют.

Наиболее распространенными являются косвенные измерения.

По виду измеряемых величин измерения классифицируют на линейные (измерение длины, площади и объема), механические, тепловые, электрические, световые и т. д. Теперь широко применяются электрические методы измерений неэлектрических величин.

С помощью электрических методов можно измерить механические, тепловые, электрические, световые и другие величины с высокой степенью точности, без прямого участия человека, на расстоянии от объекта, при непосредственном воздействии измерительного устройства на машины. Электрификация измерений осуществляется путем преобразований неэлектрических величин в электрические (напряжение, сила и частота тока, сопротивление, индуктивность, емкость) с помощью датчиков. При этом используется зависимость какого-либо электрического параметра тела от измеряемой величины. Например, при измерении температуры используется зависимость электрического сопротивления от температуры. Таким путем можно измерить силу света, деформацию, влажность, поляризацию и т. д.

Электрические измерения неэлектрических величин обстоятельно изложены в книге (1) и других руководствах.

В физике и технике разработано много методов измере-

ний: метод непосредственного определения, нулевой метод, метод замещения, метод совпадения и др.

При непосредственном определении измеряемую величину сравнивают с соответствующей мерой или находят ее значение при помощи измерительного прибора путем прямых измерений. Точность этого метода зависит от точности меры или измерительного прибора.

В нулевом методе, который является наиболее точным, действия двух величин на указатель измерительного прибора уравновешиваются. Таким методом определяются массы тел на равноплечных весах, электрические сопротивления — на мостах постоянного тока, емкости и индуктивности — на мостах переменного тока, электрические напряжения—при помощи потенциометров, силы света — при помощи фотометров и т. д.

Сущность метода замещения заключается в том, что значение измеряемой величины определяется не непосредственно, а путем замены ее известной, равной ей величиной. Например, неизвестное сопротивление можно определить так: включить его в электрическую цепь и измерить ток; затем вместо данного неизвестного сопротивления включить магазин сопротивлений (или какое-либо другое известное сопротивление) и установить в цепи тот же ток. Тогда измеряемое сопротивление и будет равно подобранному сопротивлению магазина. В качестве следующего примера возьмем определение массы тела: положим на одну чашку весов тело, а на другую—уравновешивающего его тару; затем тело снимается и вместо него кладутся гири, уравновешивающие тару. Искомая масса тела будет равна известной массе гирь.

На других методах измерений мы не будем останавливаться, укажем лишь, что в настоящее время широкое распространение получили так называемые бесконтактные методы. В контактном методе измерение производится путем непосредственного соприкосновения измерительных поверхностей прибора с поверхностью измеряемого объекта. В бесконтактном методе измерение осуществляется без соприкосновения измерительного прибора с измеряемым объектом. Так, широко известны разнообразные радиоактивные уровнемеры и плотномеры, позволяющие осуществлять непрерывное дистанционное измерение, запись и регулирование без прикосновения к объекту. Имеются приборы, использующие радиоактивное излучение для непрерывного бесконтактного измерения толщи-

ны холодного и горячего проката, для измерения плотности пульпы в земснарядах, для определения и записи неровноты текстильной ленты, толщины покрытий и т. д.

§ 2. Общая характеристика измерительных приборов

Измерительные приборы характеризуются ценой деления, пределом шкалы, чувствительностью, точностью, правильностью, постоянством.

Цена деления прибора численно равна такому изменению значения измеряемой величины, при котором указатель прибора перемещается по шкале на одно деление. Например, цена деления стрелочного гальванометра $10^{-6}a$ на деление означает, что для отклонения стрелки прибора на одно деление требуется ток 10^{-6} ампера. Цена деления микрометра 0,01 мм показывает, что при повороте барабана на одно деление микрометрический винт перемещается на 0,01 мм.

Чувствительность прибора определяется отношением линейного или углового перемещения указателя к изменению значения измеряемой величины, которое вызывает это перемещение. Так, при чувствительности вольтметра 50 делений на вольт изменению напряжения в один вольт соответствует перемещение стрелки прибора по шкале на 50 делений. Из определения понятий цена деления и чувствительность видно, что цена деления равна обратной величине чувствительности прибора.

Точность прибора оценивается по тому, какие погрешности допускаются при измерениях: чем меньше ошибки измерений, тем больше точность прибора.

Правильность прибора характеризуется степенью приближения показания прибора к действительному значению измеряемой величины, которое определяется с помощью образцовых приборов.

Постоянство прибора оценивается степенью совпадения повторных результатов измерения одной и той же величины при одинаковых условиях.

В физике и технике имеется множество измерительных инструментов и приборов. Известны измерительные инструменты и приборы—штриховые (линейки, рулетки, штангенинструменты); микрометрические; пневматические; электрические; оптико-механические (проекторы, микроскопы); интерференционные (интерферометры) и т. д.

Мы лишь для примера кратко рассмотрим наиболее рас-

пространенные измерительные инструменты, необходимые в дальнейшем для выяснения сущности погрешностей измерений.

Штангенинструменты — приборы, построенные на принципе применения штанги с основной шкалой и нониуса. Сюда относятся: штангенциркуль — прибор для наружных и внутренних измерений; штангенглубомер — для измерения глубины или высоты и др. приборы.

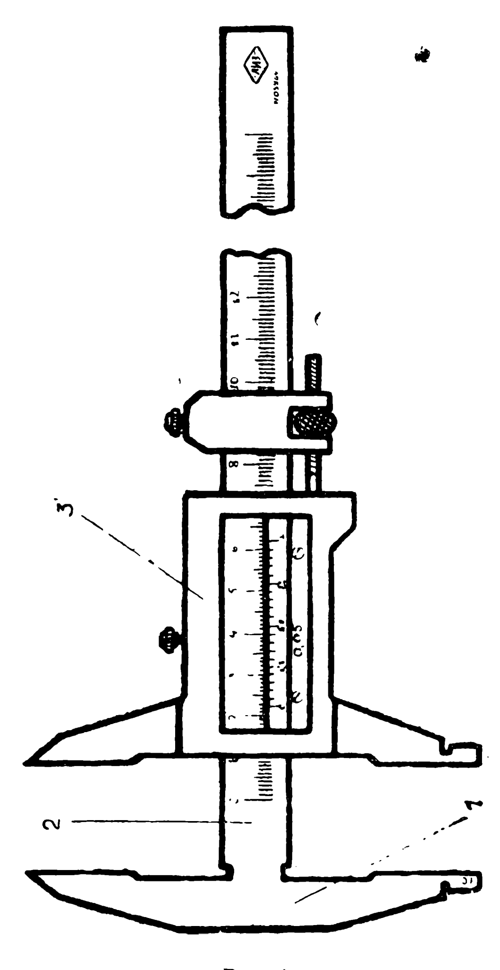


Рис. 1.

Штангенциркуль состоит из неподвижной щеки 1, соединенной с маштабной линейкой 2, и подвижной щеки 3 с нониусом, скользящей вдоль линейки (рис. 1). При измерении щеки проводятся в соприкосновение с поверхностью измеряемой детали. Для внутренних промеров используются щеки с параллельными наружными краями.

С помощью нониуса можно измерить линейные размеры детали с точностью от 0,1 до 0,02 мм. Линейный нониус представляет собой дополнительную линейку, десять делений которой равны 9 делениям основной, масштабной линейки. Могут быть и такие нониусы, у которых имеется не 10, а 20, 25 или 50 делений. Деления нониуса наносятся так, что n—1 деление шкалы равняется n делениям нониуса. Обозначив через b_1, и b_2 соответственно цены делений нониуса и масштабной линейки, мы имеем

$$nb_1 = (n-1)\ b_2,$$

отсюда

$$b_2 - b_1 = \frac{b_2}{n}.$$

Эта величина называется точностью нониуса. Например, при $b_2 = 1$ мм и $n = 10$ точность нониуса равна 0,1 мм, а при $b_2 = 0{,}5$ мм и $n = 25$, точность его—0,02 мм.

При измерении штангенциркулем целые миллиметры отсчитываются по основной линейке и к ним прибавляется деление нониуса, совпадающее с каким-либо делением основной шкалы, выражающее десятые или сотые доли мм в зависимости от точности нониуса. Пусть линейные размеры предмета заключены между 14 и 15 мм, значит целых мм будет $a = 14$. И пусть К-ое деление нониуса совпадает с каким-нибудь делением основной шкалы. Тогда длина предмета А будет равна

$$A = \left(a + \frac{k}{n}\right) b_2$$

Например, если $a = 14$, $k = 7$, а точность 0,1 мм, то $A = 14{,}7$ мм.

Микрометр — измерительный прибор с ценою деления 0,01 мм, основанный на преобразовании угловых перемещений в линейные при помощи винтовой пары. Различают микрометры для измерения наружных и внутренних диаметров, толщины листового материала, толщины стенок труб и т. д.

Рассмотрим устройство микрометра для измерения наружных гладких диаметров (рис. 2). Он состоит из скобы 1, пятки 2, стебля 3 с продольной шкалой, микрометрического винта 4, барабана 5 с круглой шкалой, стопорного приспособления

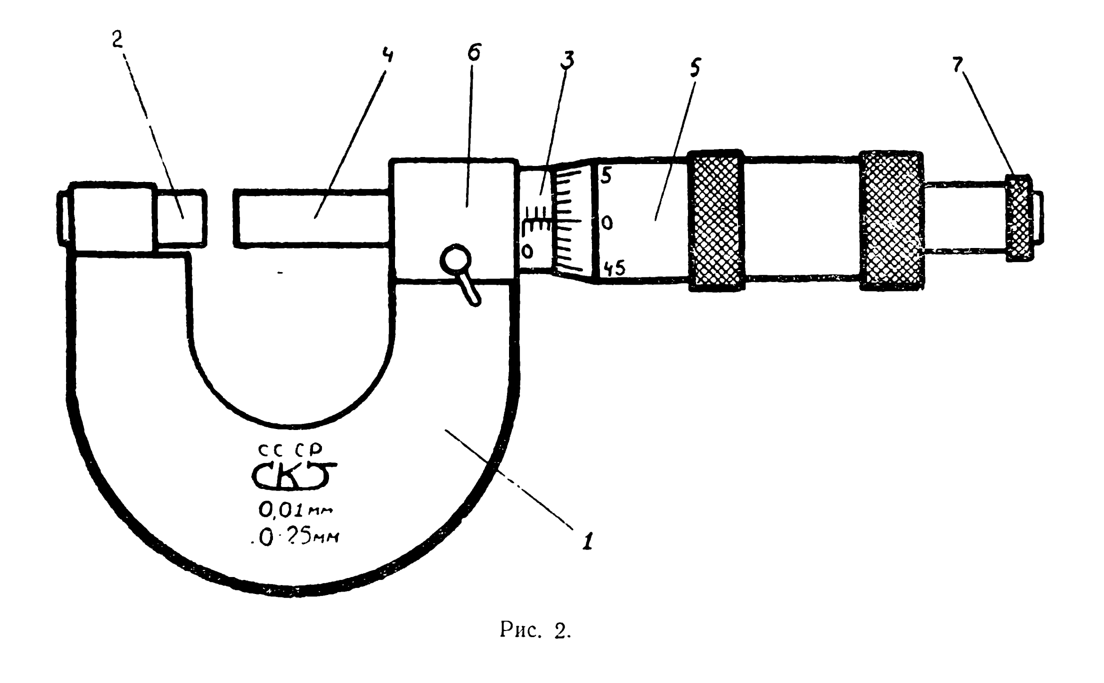


Рис. 2.

6 и трещетки 7, с помощью этого фрикционного винта обеспечивается постоянный нажим на измеряемый объект. Так как шаг микрометрической пары 0,5 мм, а на шкале барабана имеется 50 делений, то при повороте барабана на одно деление микрометрический винт 4 перемещается на 0,01 мм. Следовательно, цена деления микрометра 0,01 мм. В микрометре используется круговой нониус.

Выпускают микрометры трех классов: 0,1 и 2. Пределы измерений 0—25 мм,. 25—50 мм и далее через каждые 25 мм до 1000 мм.

Перед началом измерений надо определить цену деления прибора и проверить нулевую точку. Если при соприкосновении микрометрического винта 4 с пяткой 2 против нулевого деления шкалы не стоит нулевое деление барабана, то с помощью стопорного приспособления 6 приводят их к совпадению или, не делая этого, учитывают систематическую ошибку прибора.

На других измерительных инструментах и приборах мы не будем останавливаться. Укажем лишь, что логарифмической линейкой необходимо пользоваться при выполнении всех лабораторных работ с измерениями и вычислениями.

Теперь с логарифмической линейкой будут знакомы учащиеся школ, начиная с 9-го класса.

Введение в школах основных понятий дифференциального исчисления значительно облегчит дело усвоения учащимися техники физических измерений.

§ 3. Погрешности измерений

Всякое измерение является приближенным и содержит погрешность или ошибку измерений, обусловленную недостаточным совершенством изготовления мер и измерительных приборов, несовершенством метода измерений, влиянием окружающей среды (температура, атмосферное давление и пр.) и даже субъективными факторами.

Перед измерениями ставится задача не только получить приближенное значение измеряемой величины, но и выяснить возможные источники погрешностей, определить и учесть погрешности с целью устранения их и получения результата с определенной степенью точности.

Ошибки измерений могут быть трех родов: систематические, грубые и случайные.

Систематические ошибки при каждой операции либо пре-

увеличивают результаты измерений, либо преуменьшают. Эти ошибки обусловливаются дефектом измерительного прибора или инструмента, неправильной установкой прибора, влиянием окружающей среды и т. д. Они систематически изменяют результаты измерений в одном каком-либо направлении. Вот некоторые примеры систематических ошибок измерений: нуль барабана не совпадает с нулем продольной шкалы микрометра; начальное положение стрелки электроизмерительного прибора не совпадает с нулем шкалы; на измерительной линейке пропущено какое-либо деление; неправильная нарезка винта и т. д. В астрономии при измерении угла между направлением на светило и плоскостью горизонта систематическая ошибка зависит от систематической инструментальной ошибки и систематической ошибки, обусловленной преломлением лучей света в атмосфере. Систематическая ошибка часто бывает известна заранее и тогда она легко учитывается и устраняется.

Грубыми называют ошибки, возникающие в результате просчета, неправильного чтения показаний прибора, неустойчивости работы установки, изменения окружающей среды, неправильной методики измерений и т. д. Грубые ошибки часто бывают явно заметны своими значительными отклонениями от ошибок других измерений.

Случайные ошибки неизбежны при всяких измерениях в науке и технике. Они вызываются различными случайными причинами, действующими то в сторону увеличения, то в сторону уменьшения результатов измерений непредвиденным образом. Тут играет роль и несовершенство зрения, слуха или другого восприятия и т. д. и т. п. Заранее предсказать знак случайной ошибки невозможно. Поэтому случайную ошибку всегда пишут со знаком плюс—минус. Наличием случайных погрешностей объясняется тот факт, что при повторных измерениях какой-либо величины одним и тем же прибором при одинаковых условиях получаются различные результаты—либо превышающие действительное значение измеряемой величины, либо принижающие. Например, измеряя много раз длину предмета штангенциркулем, мы получим ряд приближенных значений измеряемой величины, некоторые из которых будут больше, а другие меньше данной величины. Причем нет основания считать уклонение в одну сторону более вероятным, чем уклонение в другую.

Бывают и так называемые ошибки параллакса, зависящие от того, что указатель, например, стрелка прибора не лежит

в плоскости его шкалы. Поэтому при наблюдении за показаниями прибора под различными углами получаются разные отсчеты. Ошибки параллакса легко устранить, если расположить луч зрения так, чтобы он проходил через указатель прибора и был перпендикулярен к его шкале. Особенно это надо иметь в виду, когда работают с приборами с зеркальной шкалой.

Ниже мы рассмотрим вопрос о том, как определяются и учитываются случайные ошибки.

Обозначим через А — истинное значение измеряемой величины, а через а—приближенное значение этой величины. Истинной абсолютной погрешностью приближенного значения а называют абсолютное значение разности $\Delta a = |A - a|$.

Однако истинная погрешность не известна, так как мы не знаем точного значения А измеряемой величины. На практике представляет интерес максимальная, предельная абсолютная ошибка, больше которой не может быть истинная ошибка. Во многих технических измерениях за абсолютную ошибку принимают наибольшую, возможную ошибку, зависящую от точности прибора и равную цене деления последнего. Например, за абсолютную ошибку измерений штангенциркулем с ценою деления в 0,1 мм принимают ошибку $\pm 0{,}1$ мм. За абсолютную ошибку измерений тока с помощью амперметра с ценою деления в 0,05 а принимают $\pm 0{,}05$ а и т. д. Если на глаз удается отсчитать десятые доли деления шкалы прибора, то за абсолютную ошибку можно взять полцены деления или даже 0,2 цены деления шкалы.

Случайные ошибки подчиняются закону теории вероятностей. Знать случайную величину—это значит знать все численные значения, которые она способна принимать. Возникает вопрос: а как часто наблюдается то или иное значение случайной величины? Следовательно, для полной характеристики случайной величины необходимо и достаточно знать все возможные значения этой величины и вероятности каждого из этих значений. Задать все возможные значения случайной величины вместе с их вероятностями означает задать закон распределения этой случайной величины. При измерениях мы должны знать не только численные значения абсолютной погрешности, но и как часто появляются при этом отдельные ее значения. Опыт показывает, что наиболее часто встречаются незначительные по величине ошибки и сравнительно редко— крупные.

Не останавливаясь на методах теории вероятностей, ограничимся рассмотрением практических приемов вычисления случайных ошибок, которыми широко пользуются в физике и технике.

Для повышения точности всякое физическое измерение производят несколько раз (не менее 3—5 раз) при одинаковых условиях. Очевидно, что среднее арифметическое из большого числа измерений наиболее точно подходит к истинному значению измеряемой величины.

При многократных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях абсолютную ошибку определяют следующим образом. Сначала находят приближенные значения измеряемой величины — a_1, a_2, a_3 и т. д., а затем вычисляют среднеарифметическое из них a. Далее находят абсолютные значения разности между средним значением измеряемой величины и каждым из приближенных значений. Это и будут абсолютные погрешности отдельных измерений. Абсолютную ошибку Δa результата измерений определяют как среднеарифметическую величину из ошибок отдельных измерений.

Окончательный результат измерений записывают в виде:

$a \pm \Delta a$

Абсолютная ошибка есть величина именованная.

Знание абсолютной ошибки еще недостаточно для оценки степени точности измерений. Действительно, пусть с помощью штангенциркуля измерена высота цилиндра (34,6 ±0,1) мм и диаметр (8,2±0,1) мм с одной и той же абсолютной погрешностью ±0,1 мм. Ясно, что высота измерена с большей точностью, чем диаметр цилиндра. Поэтому для полной характеристики точности измерений вводят еще относительную ошибку, которая представляет отношение абсолютной ошибки к результату измерения. Относительную ошибку обычно выражают в процентах.

Рассмотрим основные положения, с помощью которых вычисляются ошибки прямых и косвенных измерений.

Абсолютная (предельная) погрешность суммы или разности равна сумме предельных абсолютных погрешностей слагаемых. Действительно, пусть величины a и b измерены с неточностями Δa и Δb. Тогда алгебраическая сумма (x) чисел a и в с учетом погрешностей будет равна

$$x \pm \Delta x = (a \pm b) \pm (\Delta a + \Delta b),$$

а абсолютная предельная погрешность этой суммы равна:

$$\Delta x = \pm (\Delta a + \Delta b).$$

Заметим, что при определении ошибки результата измерений, надо брать наименее благоприятные случаи, а именно, когда ошибки величин, а и b имеют одинаковые знаки. Чтобы определить относительную ошибку алгебраической суммы чисел, следует разделить обе части последнего равенства на $x = a \pm b$. В результате получим:

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm \frac{\Delta a + \Delta b}{a \pm b}$$

Относительная погрешность произведения или частного равна сумме относительных погрешностей сомножителей или, соответственно, делимого и делителя.

Пусть $x = ab$,

$$x \pm \Delta x = (a \pm \Delta a)\ (b \pm \Delta b) \approx ab \pm (b\Delta a + a\Delta b),$$

произведением ошибок $\Delta a . \Delta b$ можно пренебречь ввиду малости этого члена по сравнению с остальными. Вычитая из обеих частей последнего равенства $x = ab$, имеем:

$$\Delta x = b\,\Delta a + a\,\Delta b.$$

Разделив на $x = ab$ обе части, получим:

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right).$$

Для вывода формулы относительной ошибки частного можно было бы привести аналогичные рассуждения.

Если дано выражение $x = ky$, где k—постоянное число, а x и y — измеряемые величины, то

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm \frac{\Delta y}{y}.$$

Относительная ошибка степени приближенного числа равна произведению из относительной ошибки основания на показатель степени, что видно из следующего:

$$x = a^n = a.\,a.\,a. \ldots a \text{ (n сомножителей)}.$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm n \frac{\Delta a}{a},$$

абсолютная ошибка

$$\Delta x = \pm n \frac{\Delta a}{a} \cdot a^n = \pm n a^{-1} \cdot \Delta a$$

Относительная ошибка корня

$$x = \sqrt[n]{a} = a^{\frac{1}{n}}$$

по предыдущему равна

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm \frac{1}{n} \frac{\Delta a}{a}$$

и абсолютная—

$$\Delta x = \pm \frac{1}{n} a, ^{\overline{n}} \cdot \Delta a.$$

Рассмотрим еще несколько примеров на вычисление ошибок измерений.

1. $x = \sin \alpha$.

Для малых углов

$$\sin \Delta\alpha \approx \Delta\alpha \approx \operatorname{tg} \Delta\alpha \text{ и } \cos \Delta\alpha \approx 1.$$

$$x + \Delta x = \sin(\alpha + \Delta\alpha) = \sin\alpha \cdot \cos \Delta\alpha + \cos\alpha \cdot \sin \Delta\alpha \approx$$

$$\approx \sin\alpha + \cos\alpha \cdot \Delta\alpha.$$

отсюда

$$\Delta x = \cos\alpha \cdot \Delta\alpha \text{ и}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \operatorname{ctg}\alpha \cdot \Delta\alpha$$

2. $x = \cos\alpha$

Рассуждения, аналогичные предыдущим, приведут к выводу:

$$\frac{\Delta x}{x} = \operatorname{tg}\alpha \cdot \Delta\alpha.$$

3. $x = \operatorname{tg}\alpha$

Подобным же образом можно доказать, что

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{2 \Delta\alpha}{\sin 2\alpha}$$

Относительная ошибка $\frac{\Delta x}{x}$ имеет минимум при $\sin 2\alpha = 1$ т. е. когда $\alpha = 45°$.

Вычисление ошибок измерений значительно облегчается, если применить дифференциальное исчисление.

1. Пусть $x = u + v$, тогда $dx = du + dv$. Перейдя от знака дифференциала d к знаку приращения Δ, имеем $\Delta x = \pm (\Delta u + \Delta v)$, т. е. абсолютная ошибка алгебраической суммы равна сумме абсолютных ошибок слагаемых.

2. Возьмем $x = u \cdot v$.

$$dx = d(u \cdot v) = vdu + udv,$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{d(u \cdot v)}{u \cdot v} = \frac{vdu + udv}{u \cdot v} = \frac{du}{u} + \frac{dv}{v} \text{ или}$$

$$\frac{\Delta(u \cdot v)}{u \cdot v} = \pm\left(\frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta v}{v}\right)$$

Это означает, что относительная ошибка произведения равна сумме относительных ошибок сомножителей.

3. Если $x = \frac{u}{v}$,

$$d\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{vdu - udv}{v^2},$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{d\left(\frac{u}{v}\right)}{\frac{u}{v}} = \frac{vdu - udv}{uv} = \frac{du}{u} - \frac{dv}{v} \text{ или}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm\left(\frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta v}{v}\right),$$

т. е. относительная ошибка частного равна сумме относительных ошибок делимого и делителя.

4. $x = \cos\alpha$,

$$dx = -\sin\alpha \cdot d\alpha,$$

$$\frac{dx}{x} = -\operatorname{tg}\alpha . d\alpha \text{ или } \frac{\Delta x}{x} = \pm \operatorname{tg}\alpha \cdot \Delta\alpha$$

5. $x = \operatorname{tg}\alpha$,

$$dx = d\operatorname{tg}\alpha = \frac{d\alpha}{\cos^2\alpha},$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{d\alpha}{\sin\alpha \cdot \cos\alpha} = \frac{2d\alpha}{\sin 2\alpha} \text{ или}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{2\Delta\alpha}{\sin 2\alpha}.$$

Когда формулы имеют вид, удобный для логарифмирования, вычисление ошибок с применением дифференциального исчисления становится более легким делом. Покажем это на примерах.

1. $x = \frac{u}{v}$, $\lg x = \lg u - \lg v$

Дифференцируя, имеем:

$$\frac{dx}{x}=\frac{du}{u}-\frac{dv}{v} \text{ или } \frac{\Delta x}{x}=\pm\left(\frac{\Delta u}{u}+\frac{\Delta v}{v}\right).$$

2. $x=\cos\alpha$, $\lg x=\lg\cos\alpha$.

$$\frac{dx}{x}=\frac{d\cos\alpha}{\cos\alpha}=-\mathrm{tg}\alpha . d\alpha \text{ или } \frac{\Delta x}{x}=\pm\mathrm{tg}\alpha . \Delta\alpha$$

3. $x=\mathrm{tg}x$, $\lg x=\lg\mathrm{tg}\alpha$.

$$\frac{dx}{x}=\frac{d\mathrm{tg}\alpha}{\mathrm{tg}\alpha}=\frac{d\alpha}{\cos^2\alpha\ \mathrm{tg}\alpha}=\frac{2\,d\alpha}{\sin 2\alpha} \text{ или } \frac{\Delta x}{x}=\pm\frac{2\,\Delta\alpha}{\sin 2\alpha}.$$

§ 4. Округление чисел. Действия над приближенными числами

Исходя из того, что все измерения являются приближенными и что исходные данные в любой практической задаче берутся лишь с некоторым приближением, а также учитывая трудность действий с числами, имеющими много цифр, всегда и везде числа округляют. При всяком округлении более точное числовое значение величины заменяется другим, менее точным его значением.

Сущность округления действительного положительного числа состоит в отбрасывании всех его цифр, расположенных правее цифры некоторого разряда. Округление бывает по недостатку или избытку, если при отбрасывании цифра последнего разряда увеличивается на единицу. Когда отбрасываются цифры в целой части числа, их заменяют нулями. Например, округление числа 6384,251 до разряда целых десятков дает (с недостатком) число 6380, округление до разряда десятых 6384,3 (с избытком) и т. д.

Различают округление до определенного числа значащих цифр и до определенного числа десятичных знаков. При округлении в первом случае заранее указывается, сколько значащих цифр должно быть удержано. Значащими цифрами числа называют все его цифры, кроме нулей, стоящих левее первой его цифры, и нулей справа, записанных взамен неизвестных или отброшенных цифр. Округление до заданного числа десятичных знаков предполагает, что заранее известен номер или название последнего сохраняемого разряда. Для того же числа округление до трех или четырех значащих цифр дает числа 6380 или 6384 (оба с недостатком); округление по недостатку до одного или двух десятичных знаков дает числа 6384,2 или 6384,25.

Вопрос о том, какое округление лучше — с недостатком или избытком, решается практически. Лучше такое округление, при котором получается меньше абсолютная ошибка округления, равная разности между точным и приближенным значениями величины. Для округления выработано правило: если первая из отбрасываемых цифр есть 0, 1, 2, 3, 4, то производится округление по недостатку, в остальных случаях — по избытку. Если отбрасываемая часть состоит из одной цифры 5, округление делается так, чтобы последняя цифра оставалась четной.

Говорят, число a имеет n верных знаков, если предельная абсолютная погрешность величины a не превышает одной единицы разряда последней цифры этого числа, которая может быть и нулем.

Термин n верных знаков не следует понимать в прямом смысле, так как в приближенном числе не все n цифр могут совпадать с n первыми цифрами точного числа. Например приближенные значения π:3,14 и 3,15 имеют по три верных знака, а 3,1415 и 3,1416 — по пяти, хотя с цифрами точного значения совпадают лишь первые цифры.

Цифра нуль, находящаяся в конце целого числа, может иметь двоякий смысл: нуль может быть значащей цифрой, указывающей на отсутствие единиц данного разряда, например, 200, но может быть поставлен взамен неизвестной или отброшенной цифры. Нуль в конце дробной части числа указывает на точность приближенного числа.

За абсолютную погрешность принимают величину, не превышающую половину единицы разряда последней значащей цифры округленного числа. В приближенном числе сохраняют только верные знаки. Количество верных знаков числа принято отмечать следующим образом. Если для приближенного числа 28500 предельная абсолютная погрешность равна 100, то оно записывается в виде 285×10^2 или $2,85 \times 10^4$ (три верных знака).

Приближенное число пишется так, чтобы в нем все цифры, кроме последней, были верны и лишь последняя была бы сомнительна на одну—две единицы. Так, если при взвешивании масса тела оказалась равной 85,74 г, т. е. измерена с точностью до четырех значащих цифр, то это означает, что цифры 8, 5, 7, заслуживают полного доверия, а за последнюю цифру (четыре сотых) ручаться нельзя.

Следует всегда указывать точность измерений. Так, измеряя диаметр проволоки микрометром, надо в числовом зна-

чении удерживать сотые доли миллиметра. Необходимо строго различать, например, такие записи, как 4 мм, 4,0 мм, 4,00 мм и т. д. В первом случае измерение произведено с точностью до целых мм, во втором—до десятых, в третьем—до сотых и т. д.

Таким образом, погрешность приближенного значения измеряемой величины можно выразить указанием числа верных знаков.

Приближенное измерение можно также характеризовать указанием возможных границ погрешности. Например, можно указать низшую и высшую границу определяемой величины или границы абсолютной и относительной погрешности приближенно измеренной величины, о чем будет сказано в § 5.

При многочисленных измерениях считаются не только с величиной погрешности, но и с вероятностью различных возможных значений этих погрешностей.

Действия над приближенными числами подчиняются следующим правилам. В сумме и разности приближенных чисел надо сохранять столько знаков после запятой, сколько их в числе с наименьшим количеством знаков после запятой.

Чтобы получить сумму с n верными знаками, нужно наибольшее слагаемое взять с $n + 1$ верными знаками, а в остальных слагаемых отбросить все знаки, стоящие правее последнего сохраненного разряда в наибольшем числе.

Пример. Требуется найти с 3 верными знаками сумму чисел 284,5; 58,42; 8,371. Для этого первое число берем с 4 знаками, второе и третье — с одним десятичным знаком. В результате имеем: $284{,}5 + 58{,}4 + 8{,}4 = 351{,}4$.

При вычитании пользуются правилом: когда уменьшаемое значительно превышает вычитаемое, то при определении числа верных знаков разности пользуются тем же правилом, что и для суммы. Если уменьшаемое и вычитаемое близки друг к другу, т. е. разность мала, то число верных знаков в разности может оказаться значительно меньше, чем в исходных числах. Вследствие этого относительная ошибка может стать очень большой и точность пострадает — происходит потеря точности. Поэтому надо избегать вычитания таких чисел.

Для определения числа верных знаков в действиях умножения и деления руководствуются правилами: результат умножения и деления чисел имеет на один—два верных знака меньше, чем наименьшее количество верных знаков в тех числах, над которыми эти операции производятся. Следовательно, для получения результата умножения и деления с n верными знаками надо брать числа, над которыми эти действия

производятся, с $n+2$ верными знаками. На практике почти всегда достаточно для этой цели брать числа с $n+1$ знаками, а иногда даже с n знаками. Поэтому в произведении и частном удерживают столько значащих цифр, сколько их в приближенном числе с наименьшим количеством значащих цифр.

При возведении в квадрат и куб в результате сохраняют столько значащих цифр, сколько их имеет приближенное число, возводимое в степень.

При извлечении квадратного и кубического корней в результате берут столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное приближенное число.

Иногда окончательный результат получают через промежуточные. Например, ЭДС источника равна сумме падений напряжений на отдельных участках последовательно соединенной цепи:

$$E = JR_1 + JR_2 + JR_3,$$

где E, J, R — соответственно ЭДС, ток и сопротивление. Так как в процессе вычислений происходит накопление ошибок, то промежуточные вычисления ведутся с запасными знаками (одним—двумя).

Приближенные значения многократных измерений величины можно рассматривать как случайные величины (как и погрешности измерений). Среднее значение из этих величин с практической точки зрения достаточно хорошо характеризует измеряемую величину. Часто приходится вычислять средние значения суммы и произведения случайных величин, средние значения которых известны. Поэтому мы сформируем две теоремы о средних значениях, которыми пользуются на практике.

Теорема о среднем значении суммы: среднее значение суммы всегда равно сумме средних значений слагаемых. Если x и y — две произвольные, независимые величины, то

$$\overline{x + y} = \overline{x} + \overline{y}$$

(черта сверху означает среднее значение). Эта теорема автоматически распространяется на случай трех и более слагаемых.

Пример. Путем измерений мы находим отдельно средние значения двух сопротивлений, затем соединяем их последовательно и тоже определяем их общее среднее значение. Тогда можно сказать, на основании сформулированной теоремы, что среднее значение двух последовательно включенных сопротив-

лений равно сумме их средних значений, измеряемых отдельно.

Теорема о среднем значении произведения: для взаимно независимых случайных величин среднее значение произведения равно произведению средних значений сомножителей

$$\overline{xy} = \overline{x} \cdot \overline{y}.$$

Это правило распространяется на произведения любого числа сомножителей (взаимно независимых).

Пример. Из опыта найдено , что среднее значение сопротивления проводника равно 42 ома, а среднее значение тока — 2а. Сопротивление и ток будем считать независимыми величинами. Тогда среднее значение напряжения на участке цепи, согласно знака Ома, будет равно

$$\overline{U} = \overline{J} \cdot \overline{R} = 2 \,.\, 42\text{в} = 84\text{в},$$

где $\overline{J}$, $\overline{R}$, $\overline{U}$ — средние значения тока, сопротивления и напряжения.

§ 5. Способы учета погрешностей измерений. Калибры и допуски

Выше мы рассмотрели вопросы об ошибках измерений, об округлении приближенных чисел и т. д. Теперь мы кратко сформулируем выводы о способах учета погрешностей.

Наиболее простым и распространенным способом характеристики точности измерений является способ подсчета количества сохраненных цифр, т. е. определение точности по числу верных знаков. Округляя результат и беря то или иное количество верных знаков, мы сохраняем надежными все цифры, за исключением последней, которая может отличиться от точного значения на 1—2 единицы. Напомним, что числа округляют до целых, до десятков, до сотен и т. д., а также до десятых (до первого десятичного знака), до сотых (до второго десятичного знака) и т. д. В каждом случае последней сохраненной цифрой является цифра целых десятков, сотен и т. д. или цифра десятых, сотых и т. д.

Для практических целей в большинстве случаев достаточно округлять результат до 3—4 значащих цифр, а иногда и до 2 знаков.

Округляя приближенное число с нулями в конце дробной части, следует оставить какое-то их количество, достаточное для характеристики точности числа. Отбрасывая нули в конце дробной части приближенного числа, мы тем самым его округляем.

В рассмотренном способе определения точности измерения и округления по числу верных знаков погрешность остается неопределенной, хотя по величине она и незначительна.

Однако точность приближенного числа можно оценить указанием того, между какими границами заключается искомое число. Число меньше искомого называется низшей границей (Н. Г.), а другое — больше искомого наз. высшей границей (В. Г.). Этот прием называется учетом погрешности по способу границ или вычислением со строгим учетом погрешностей.

Пример 1. Измеряя диаметр проволоки микрометром, мы можем сказать, что истинное значение искомой величины заключается, например, между пределами 2,38 и 2,39 мм, которые и являются НГ и ВГ данной величины.

Пример 2. Пусть при взвешивании чашка с взвешиваемым грузом перетягивает чашку с разновесками в 84,35 г и, наоборот, разновески в 84,37 г перетягивают чашку с грузом. Числа 84,35 г и 84,37 г являются НГ и ВГ искомого веса. В зависимости от чувствительности весов границы могут быть сближены или удалены.

Когда какая-либо величина А измеряется несколько раз, НГ и ВГ находятся путем прибавления к среднеарифметическому значению (а) средней абсолютной погрешности Δ а и тогда мы можем записать двойное неравенство

$$a - \Delta a < A < a + \Delta a,$$

здесь $a - \Delta a$ есть НГ и $a + \Delta a$ — ВГ

Чтобы найти НГ арифметической суммы надо взять сумму НГ слагаемых, а для нахождения ВГ суммы следует взять сумму ВГ слагаемых.

Для получения НГ разности надо взять НГ уменьшаемого и вычесть ВГ вычитаемого; для получения ВГ разности надо взять ВГ уменьшаемого и вычесть НГ вычитаемого.

При вычислении НГ произведения находят произведение НГ сомножителей, при вычислении ВГ произведения берут произведение ВГ сомножителей.

Правило нахождения границ частного:

$$\text{НГ(частного)} = \frac{\text{НГ(делимого)}}{\text{ВГ(делителя)}}, \quad \text{ВГ(частного)} = \frac{\text{ВГ(делимого)}}{\text{НГ(делителя)}}$$

Пример 1. В цепи с активной нагрузкой мощность тока P равна произведению тока J и напряжение U. Пусть ток больше 2,6 а и меньше 2,7 а, а напряжение больше 52, и меньше 53 в. Тогда НГР = НГJ. НГU = 2,6 а. 52 в = 135 вт.

ВГР = 143 вт. Округляя границы, получаем, что

$$135 \text{ вт} < P < 143 \text{ вт}.$$

Пример 2. Для вычисления ускорения силы тяжести можно воспользоваться формулой математического маятника

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2},$$

где g, l, T — соответственно ускорение силы тяжести земли, длина маятника и период его свободных гармонических колебаний. Пусть l больше 150,5 см и меньше 151,5 см, T больше 2,45 сек. и меньше 2,47 сек. Тогда

$$\text{НГ}g = 974 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2} \text{ и } \text{ВГ}g = 996 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}.$$

Оценить точность измерений можно и по способу границ абсолютной и относительной погрешности, который является более удобным для практических целей.

Пусть истинное значение измеряемой величины A заключено между НГ (a_1) и ВГ (a_2), т. е.

$$a_1 < A < a_2.$$

Найдем среднеарифметическое значение

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

Абсолютное значение разности $a - a_1 = a_2 - a = \frac{a_1 - a}{2}$

дает границы абсолютной погрешности приближенного значения a

Искомая величина

$$A \approx a \ (\pm \Delta a),$$

где Δa граница абсолютной погрешности.

Таким образом в этом способе подсчета погрешностей полусумма обеих границ дает приближенное значение измеряемой величины A, а полуразность — границы абсолютной погрешности этого приближенного значения.

На практике иногда округляют приближенное значение a и тогда граница погрешности, конечно, уже не будет равна полуразности границ, а становится больше. Причем разности $a - a_1$ и $a - a_2$ по абсолютному значению теперь не будут между собой равны, а границы нижняя и верхняя также несколько изменяются. За границу абсолютной погрешности можно принять наибольшее из двух положительных чисел $a - a_1$ и $a_2 - a$

При многократных измерениях за границу абсолютной погрешности можно взять среднеарифметическое значение из абсолютных погрешностей отдельных измерений.

Знание границ абсолютной погрешности оказывается недостаточным, когда сравнивают приближенные значения различных величин. В этом случае для сравнения точности пользуются границей относительной погрешности, которую определяют как отношение границы абсолютной погрешности к приближенному значению величины. Искомую величину можно выразить приближенным равенством

$$A \approx a \ (\pm P\%)$$

или двойным неравенством

$$a - 0{,}01pa < A < a + 0{,}01pa$$

Определение точности измерений по способу границ абсолютной и относительной погрешности имеет то преимущество перед способом границ, что, не вычисляя эти границы — НГ и ВГ, мы можем найти погрешности результата измерений, зная границы погрешностей всех данных приближенных значений.

Для границ абсолютной погрешности суммы и разности, а также для границ относительной погрешности произведения, частного, степени и корня справедливы теоремы для абсолютной ошибки суммы и разности, а также для относительной ошибки произведения, частного, степени и корня, рассмотренные выше в § 3.

В следующих примерах мы рассмотрим оценку точности по способу учета границ абсолютной и относительной погрешности и способу границ.

Пример 1. Требуется определить объем V цилиндра с помощью штангенциркуля. При измерении его диаметра Д получено пять значений в мм: 18,0; 17,9; 18,0; 17,9; 17,8, среднее из которых равно 17,9 (±0,06) мм; за границу абсолютной погрешности результата принято среднее из отдельных уклонений. Для высоты Н получено пять чисел 50,0; 49,9; 49,8; 49,9; 49,8 мм, среднее из них равно 49,9 ± (0,06) мм. Вычислив границы относительных погрешностей диаметра и высоты, мы находим относительную погрешность объема

$$P = \frac{\Delta v}{v} = \pm\left(2\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta H}{H}\right) = \pm(0{,}006 + 0{,}001) = \pm 0{,}7\%.$$

Зная относительную ошибку объема, мы теперь можем вычислить объем, округлив результат в зависимости от полученной точности измерений. Так как р=0,7%, т. е. около

процента, то объем цилиндра следует вычислить до трех значащих цифр (до трех верных знаков), он равен 126×10^2 мм³.

Затем находим границу абсолютной погрешности объема:

$$\triangle V = PV = \pm 88 \text{ мм}^3 \approx \pm 90 \text{ мм}^3$$

и округляем результат до одной—двух значащих цифр. Вообще абсолютную погрешность нет смысла записывать числом, содержащим более двух знаков (более двух значащих цифр). Часто бывает достаточно и одного знака. То же самое можно сказать и про относительную ошибку.

Окончательный результат вычислений объема запишем в виде

$$V = 12{,}6\ (\pm 0{,}09)\ \text{см}^3 = (12{,}6 \pm 0{,}1)\ \text{см}^3.$$

Пользуясь методом границ, для объема того же цилиндра мы получим:

$$\text{НГ}V = 12{,}33 \text{ см}^3 \text{ и } \text{ВГ}V = 12{,}79 \text{ см}^3.$$

Среднее из них равно 12,56 см³, что практически совпадает с найденным выше значением объема по способу границ погрешностей.

Результаты измерений и вычислений следует записывать в заранее заготовленную таблицу (см. приложение №1).

Пример 2. Определение плотности тела d.

В качестве образца возьмем тот же цилиндр, объем V которого определен выше: $V = 12{,}6\ (\pm 0{,}09)$ см³. Взвешиванием на весах нашли массу тела m, равную 34,62 (±0,01) г. Относительная ошибка плотности, вычисленная по формуле

$$P = \pm \left(\frac{\triangle m}{m} + \frac{\triangle v}{v}\right).$$

равна ± 0,73%.

Результат вычислений плотности тела и абсолютной погрешности запишем в виде:

$$d = 2{,}76\ (\pm 0{,}02)\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = (2{,}76 \pm 0{,}02)\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Измеряя плотность тела по методу границ, получим:

$$\text{НГ}d = 2{,}70\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \text{ и } \text{ВГ}d = 2{,}81\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Пример 3. Определение «g» с помощью математического маятника. Результат измерений по методу границ нами был получен выше, он оказался равным:

$$НГg = 974\ \frac{см}{сек^2} \quad и \quad ВГg = 996\ \frac{см}{сек^2}.$$

Период колебаний маятника был измерен три раза из трех серий наблюдений по 50 колебаний каждая. Получены значения 2,45, 2,46, 2,46 сек., среднее из которых равно 2,46 сек.

С учетом границ абсолютных погрешностей

$$l = 151{,}0\ (\pm 0{,}5)\ см \quad и \quad T = 2{,}46\ (\pm 0{,}01)\ сек.$$

Относительная ошибка измерений g равна:

$$P = \frac{\Delta g}{g} = \pm \left(\frac{\Delta l}{l} + 2\frac{\Delta T}{T}\right) = \pm\ (0{,}33 + 0{,}81)\% = \pm\ 1{,}2\%.$$

Период T надо измерять возможно точнее, так как относительная ошибка его удваивается. С этой целью и проводятся измерения времени 50 и более колебаний, таких серий берут не менее трех.

Лишь после определения границы относительной погрешности приступают к вычислению g. В нашей задаче

$$g = 986\ (\pm 12)\ \frac{см}{сек^2}.$$

Абсолютную погрешность Δg вычисляют по формуле

$$\Delta g = pg = \pm\ 12\ \frac{см}{сек^2}.$$

Анализ оценки точности измерений в приведенных примерах показывает, что измерения надо производить так, чтобы относительные погрешности измерений величин, входящих в данную формулу, были бы приблизительно одного порядка. Если какая-либо величина измерена с малой точностью и повысить ее нельзя, то нет смысла измерять с более высокой точностью другие величины, с которыми первая так или иначе связана.

Обращаем внимание, что если относительная ошибка величины, измеренной косвенным путем, приблизительно равна проценту, то приближенное значение этой величины следует округлить до трех верных знаков, так как погрешность в один процент делает сомнительной третью значащую цифру искомой величины; при относительной ошибке в десятые доли процента результат косвенных измерений округлять до четырех значащих цифр и т. д.

Далее, подчеркнем еще раз, что при косвенных измерениях, например, при измерении объема цилиндра по диаметру и высоте, сначала следует определить относительную ошибку и лишь потом вычислять искомую величину. После чего находят абсолютную погрешность результата измерений. Это необходимо для того, чтобы при вычислениях искомой величины не увлекаться слишком большим количеством знаков, а брать их столько, сколько требует точность измерений.

В связи с ошибками измерений кратко остановимся на применении в технике калибров и допусков.

Калибр—бесшкальный измерительный инструмент, служащий для проверки размеров и формы изделия или взаимного расположения его частей. По способу проверки изделий калибры подразделяются на нормальные, изготовляемые по номинальному размеру детали, и предельные, изготовляемые с двумя размерами, соответственно высшей и низшей границам размеров вырабатываемой детали. Предельные калибры бывают односторонние и двухсторонние. Например, для проверки валов применяются скобы, для отверстий — пробки и т. д.

По измеряемому пределу различают калибры проходные ПР и непроходные НЕ. Проходная сторона калибра скобы соответствует наибольшему допустимому размеру детали; наоборот, непроходная сторона соответствует наименьшему допустимому размеру детали. У калибра пробки проходная сторона соответствует наименьшему допустимому размеру детали, непроходимая сторона—большему допустимому размеру изделия. Изделие считается годным, если сторона ПР свободно входит (или находит), а сторона НЕ не входит (не находит). Проверяемый размер детали должен находиться между наибольшим и наименьшим допустимыми размерами, которые являются высшей и низшей границами размеров изготовляемого изделия.

Допуском называется разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами объекта (отверстия или вала). Например, если ВГ размера отверстия 12,120 мм, и НГ— 12,000 мм, то допуск на размер отверстия равен 12,120—12,000 = 0,120 мм. Точность изготовления детали определяется допусками.

Абсолютная величина допуска зависит от размера детали, класса точности и т. д. При малых допусках применяются тонкие и сложные отделочные операции, при больших допусках можно ограничиться более грубой обработкой детали.

§ 6. Выбор приборов. Наивыгоднейшие условия измерений

Чтобы измерить какую-либо физическую величину, надо прежде всего выбрать метод измерений и измерительные инструменты и приборы. Применять следует именно такие приборы, точность которых обеспечивает выполнение данной конкретной задачи. Брать более точные приборы, чем это необходимо, нерационально.

Точность прибора определяется его конструкцией, назначением и т. д.

Различают следующие погрешности измерительного прибора.

Абсолютная погрешность — разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величины, которое определяется образцовым измерительным прибором:

$$\Delta A = A_п - A_о,$$

где $A_п$ — показание измерительного прибора, $A_о$ — показание образцового прибора, ΔA — абсолютная погрешность.

Действительная относительная погрешность измерения P

$$P_о = \frac{\Delta A}{A_о}.$$

Номинальная относительная погрешность измерения:

$$P_н = \frac{\Delta A}{A_п}.$$

Приведенная относительная ошибка измерительного прибора:

$$P_п = \frac{\Delta A}{A_м},$$

где $A_м$ — наибольшее значение, которое может быть измерено по шкале прибора. Действительная и номинальная относительные погрешности почти совпадают.

В стандартных технических приборах нормируется приведенная погрешность.

В соответствии с ГОСТ 1945—52 г. точность приборов определяется их максимальной, приведенной относительной ошибкой. В зависимости от максимальной допустимой ошибки установлено по стандарту семь классов точности электроизмерительных приборов: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; и 4,0. Например, вольтметр класса 1,0 со шкалой 300 в может при измерениях давать максимальную погрешность 3 в независимо от значе-

ния измеряемого напряжения. Ясно, что номинальная относительная погрешность прибора будет тем больше, чем ближе указатель прибора находится к началу шкалы. Поэтому нерационально использовать начальную часть шкалы. Лучше измерения проводить на второй половине шкалы прибора.

Тот или другой, например, электроизмерительный прибор выбирается в зависимости от той точности, с которой требуется определить измеряемую величину.

Равным образом, скажем, выбирается и реостат. Включать, например, в сеть с напряжением 220 в для получения тока 2 а реостат с сопротивлением 50 ом нельзя.

Выбрав метод измерений и необходимые приборы, следует определить условия наивыгоднейших измерений. Так, результат измерений сопротивления при помощи мостика получается с наибольшей точностью, когда плечи калиброванной струны реохорда приблизительно равны между собой.

Второй пример. При измерении длины волны света с помощью дифракционной решетки наибольшая точность достигается при больших углах дифракций, что видно из следующих формул:

$$d\sin\varphi = n\lambda, \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \mathrm{ctg}\varphi \cdot \Delta\varphi,$$

d — постоянная решетки, n — порядок дифракционного спектра, λ —длина волны, φ — угол, определяющий направление дифрагированных лучей.

§ 7. Обработка результатов измерений

После окончания наблюдений и отсчетов по данной лабораторной работе приступают к внесению в результаты измерений различных поправок (если, конечно, они требуются), зависящих от температуры, внешнего давления, иногда от систематических ошибок приборов и инструментов, от широты места наблюдений и т. д.

Закончив введение поправок, начинают вычислять искомую величину по заданной в задаче формуле. Рассмотрим весь этот процесс на примере определения объема цилиндра с помощью штангенциркуля.

Диаметр D и высоту h измеряют по 3 — 5 раз с точностью до 0,1 мм. Затем находят среднеарифметическое значение диаметра. Вычитая из среднеарифметического значения диаметра каждое из приближенных его значений и беря абсолютные значения этих разностей, получают абсолютные по-

грешности отдельных измерений, среднее из которых и будет абсолютной погрешностью результата измерений диаметра. Разделив среднюю ошибку на среднее значение диаметра, получают среднюю относительную ошибку измерений диаметра. То же самое проделывают и с высотой. После чего вычисляют относительную ошибку объема, а затем объем по формуле

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h$$

и абсолютную ошибку объема $\triangle v$. Напомним, что объем определяется путем косвенных измерений.

Как мы уже указывали, прежде чем приступить к вычислению объема, надо предварительно обязательно найти относительную ошибку объема по формуле

$$\frac{\triangle V}{V} = \pm\left(2\frac{\triangle D}{D} + \frac{\triangle h}{h}\right)$$

Это необходимо для того, чтобы знать, с какой точностью вычислять объем. Пусть относительная погрешность объема равняется приблизительно одному проценту. Тогда результат вычисления объема следует округлить до трех значащих цифр и написать, скажем, число 32,6 мм³ или 0,0326 см³. Не вычислив наперед относительную ошибку объема, мы не знаем, сколько же знаков удержать в числе, выражающем объем. Нередко при этом пишут несуразные числа, затрачивая непроизводительно на их получение много времени, например, 32,64289 мм³. Возникает вопрос: а почему взяли результат с семью знаками? Может быть, надо взять знаков еще больше или значительно меньше? Ответом на вопрос является знание относительной погрешности: при относительной погрешности около одного процента следует брать число с тремя знаками; при ошибке около 0,1 % — четыре знака и т. д. Пояснить это можно простым расчётом. Число 32,6 мм³ при абсолютной ошибке 0,2 мм³ (единицы последнего разряда) получено с точностью около одного процента

$$\left(\frac{0,2}{32,6} \cdot 100\% \approx 0,6\%\right).$$

Вычислив относительную ошибку и искомую величину с помощью косвенных измерений, находят далее абсолютную погрешность измерений этой величины.

Пусть относительная погрешность составляет 1,2 %, а приближенное значение измеряемой величины — 4,72 см³; тогда абсолютная погрешность будет равна:

$$\frac{1,2}{100} \cdot 4,72 \text{ см}^3 \approx 0,06 \text{ см}^3.$$

Заметим, что абсолютную погрешность как и саму приближенную величину следует округлять до одного и того же разряда. В последнем примере округление произведенного до сотых долей см³. Для нашего примера окончательный результат измерений записывается в виде $(4,72 \pm 0,06)$ см³. Знак $\pm$ перед абсолютной ошибкой надо ставить обязательно, если речь идет о случайных погрешностях измерений (мы их имеем в виду).

Итак, при вычислении результата измерений следует округлять число таким образом, чтобы количество удержанных значащих цифр соответствовало точности измерений и удовлетворяло требованиям практики. Обычно для целей практики достаточно окончательный результат измерений округлить до 2—3 знаков. Однако в современной науке и технике имеются и такие измерения, точность которых превышает даже шестой знак (см. приложение 2).

В зависимости от точности измерений при вычислениях пользуются таблицами логарифмов с 4—5 или 7 знаками, а также логарифмической линейкой. Кроме того, используются и различные другие таблицы, в том числе таблицы физических величин.

В приложениях мы приводим несколько образцов протоколов измерений.

Результаты многих физических и технических измерений могут быть представлены графически. Например, можно построить график нагревания, плавления и отвердевания нафталина, откладывая по оси абсцисс время (в минутах), а по оси ординат — температуру; график процесса нагревания и кипения воды (как и для нафталина); график зависимости давления газа от объема при постоянной температуре, откладывая по оси абсцисс значения объема, а по оси ординат — давления; график зависимости тока от напряжения при постоянном сопротивлении участка и т. д. Графики или диаграммы широко применяются при градуировке или калибровании какого-либо прибора или инструмента.

При построении графика обычно пользуются прямоугольной системой координат и реже полярными координатами. График надо строить на миллиметровой бумаге (можно брать и бумагу в линейку), строго соблюдая произвольно выбранные масштабы значений одной и другой из измеряемых величин. Так как это бывают совершенно разные величины, то и

масштабы их разные. Например, за один ампер можно взять 5 см, а за один вольт — 0,2 см.

Полученные на графике точки соединяют плавной линией, дающей наглядное представление о физическом процессе. По графику путем интерполяции можно находить значения одной величины и для таких значений другой, обычно независимой величины, которые непосредственно не наблюдались.

§ 8. Методика работы в физической лаборатории

Знания, умения и навыки, полученные учащимися в лаборатории, только тогда будут прочными, тесно связанными с жизнью, с практикой, когда лабораторные работы выполняются творчески, самостоятельно, активно, сознательно, когда учащиеся ясно представляют цели и задачи, поставленные перед данной работой, когда они понимают теорию явления и метод измерения искомой величины. Всего этого невозможно достигнуть без глубокой предварительной подготовки к очередным лабораторным работам.

В предварительную подготовку учащихся к лабораторным работам входит: выяснение цели и задачи, поставленных в работе, ознакомление с содержанием работы, изучение теории явления и метода измерений, ознакомление со схемой и необходимыми приборами, планом и последовательностью выполнения отдельных частей работы.

Результаты предварительной подготовки должны быть зафиксированы в тетради лабораторных работ, с которой учащийся приходит на каждое занятие. Предварительная запись включает: цель и задачи работы, метод измерения, необходимые формулы (с выводами или без выводов), расчеты для самостоятельного выбора приборов, принципиальные электрические схемы измерений, перечень аппаратуры, форму таблицы измерений, план выполнения работы, формулы для подсчета ошибок измерений.

Придя в лабораторию, учащийся составляет рабочую схему установки и записывает ее в свою тетрадь, а если выполняются работы по электричеству, то приближенно рассчитывает токи и напряжения во всех участках цепи для максимального и минимального знаний сопротивлений реостатов или других регулирующих устройств, самостоятельно выбирает необходимую аппаратуру или использует расставленные на рабочем месте приборы, записывает основные технические данные используемых приборов (типы и номера измерительных приборов, пределы их измерений, цену деления и т. д.), составляет

план расположения аппаратуры на рабочем столе. После чего приступает к выполнению эксперимента.

Мы рекомендуем следующий порядок выполнения работы:

а) проверить наличие и исправность приборов на рабочем месте, установить их стрелки на нуль, поставить все измерительные приборы на максимальные пределы измерений, напряжения на выходе трансформатора на минимум, сопротивления на наибольшую величину и т. п.;

б) рационально расположить измерительные приборы на рабочем месте с учетом влияния посторонних электромагнитных полей на точность показаний приборов, придать им рабочее положение;

в) собрать установку или схему, которая должна быть максимально простой и наглядной. При сборке схем электрических целей сначала собирают последовательную цепь, а затем присоединяют параллельные разветвления. Определить цену деления прибора при данном пределе измерений. Источники энергии включать только с разрешений руководителя.

Рабочую схему установки собирать по каждому пункту работы;

г) каждую величину измерить 3—5 раз. При отсчетах не допускать ошибок параллакса. Во избежание слишком больших ошибок измерения на электроизмерительных приборах следует производить при отклонениях стрелки, достигающих не менее 20—30% от номинального (предельного) значения шкалы прибора. Подбирать наиболее выгодные условия измерений.

Запись отсчетов по приборам производить лишь после того, как установка налажена, работает надежно и устойчиво, а приборы показывают воспроизводимые результаты. При тщательно выполненных измерениях результат получится правильным.

Всякие переключения в схеме (установке), присоединение или отключение частей схемы производить только после отключения источников энергии. Особую осторожность соблюдать при работе с резонансными цепями, содержащими реактивные катушки и конденсаторы.

Результаты измерений записать в заранее заготовленную таблицу, указав единицы измерений.

Окончив измерения (наблюдения и отсчеты) по тому или иному пункту программы работы, учащийся, не разбирая ус-

тановку, подсчитывает результаты измерений и представляет их руководителю. Лишь после утверждения результатов измерений руководителем переходить к следующему пункту работы и т. д. После окончания работы с разрешения руководителя разобрать установку и сдать рабочее место.

Выполнив все измерения и получив удовлетворительный результат по каждому пункту работы, учащийся в лаборатории (если остается время) или дома обрабатывает экспериментально полученный материал, оформляет и сдает руководителю отчет по выполненной работе до начала следующей очередной работы.

В отчет включается:

1) Номер и название работы, дата ее выполнения.

2) Цель и задача работы.

3) Краткая теоретическая справка с необходимыми формулами для расчетов и разъяснением физического смысла величин, входящих в формулы (выводы формул не обязательны).

4) Рабочая принципиальная схема установки по каждому пункту работы или схематический рисунок.

5) В отчет по каждому пункту программы работы включить:

а) перечень приборов и принадлежностей с краткой их характеристикой: название и принцип действия прибора, класс точности, пределы измерений, цена деления в данном пределе измерений, чувствительность, рабочее положение;

б) таблицы с результатами наблюдений и измерений;

в) вычисления искомых величин с оценкой точности измерений;

г) соответствующие графики (если это необходимо);

д) ответы на контрольные вопросы.

Степень подготовленности учащихся к каждой очередной работе проверяется преподавателем в начале занятия и в процессе выполнения работы.

В конце каждого цикла работ целесообразно проводить с учащимися итоговые коллоквиумы по выполненным работам с использованием аппаратуры.

Учащиеся предупреждаются, что за испорченные по халатности приборы они несут материальную ответственность.

4*

§ 9. Советы учителю физики

При выполнении лабораторных работ с измерениями по физике в 6—7 классах следует добиваться того, чтобы учащиеся усвоили понятие о максимальной абсолютной и относительной ошибках измерений и научились их определять в простейших случаях. Например, при измерении длины, площади, объема; при взвешивании на весах; при измерении тока и напряжении и т. д. Необходимо также прививать учащимся первоначальные навыки с приближенными вычислениями и разъяснить, что точность измерений можно характеризовать количеством значащих цифр.

В 8—11 классах надо знакомить учащихся с оценкой точности измерений по способу границ и способу границ абсолютной и относительной погрешностей. Тогда они научатся анализировать свои измерения и оценивать качество своей работы, не прибегая к сравнению своих результатов с табличными данными.

Для учащихся школ, пожалуй, наиболее доступным и понятным является способ вычисления границ приближенного числа. Сначала находят НГ и ВГ искомой величины, затем берут среднее из этих значений, которое округляют и принимают за приближенное значение искомой величины. Максимальную абсолютную ошибку находят путем вычитания из среднего значения низшей или высшей границы, в результате округляют сомнительные цифры. Максимальную абсолютную ошибку можно вычислить, беря полуразность верхнего и нижнего значения величины. Относительная ошибка определяется как отношение предельной абсолютной ошибки к среднему значению измеряемой величины.

Абсолютная и относительная погрешности вычисляются по формулам, рассмотренным в §§ 3 и 5.

Обработка наблюдений и вычисление погрешностей измерений физических величин — дело очень трудоемкое, но чрезвычайно необходимое для науки, техники и практики вообще. Особенно важно теперь, когда учащиеся после окончания школы сразу идут работать на производство. Учитывая актуальность приобретения учащимися навыков в оценке точности измерений, преподаватели физики, электротехники и других технических дисциплин обязаны, не считаясь с трудом, систематически и настойчиво прививать и постепенно развивать эти навыки в процессе выполнения лабораторных работ и во время производственной практики на предприятиях. Лабораторные работы, выполненные с анализом источников возможных

ошибок и учетом этих ошибок при определении результатов измерений, свидетельствуют о сознательном и творческом отношении учащихся к овладению техникой физического эксперимента. Этого должны добиваться учителя школ и преподаватели вузов и техникумов.

В заключение мы хотим еще раз сказать, что настоящее руководство рассчитано на учителя и студента высшего учебного заведения и техникума.

Приложение № 1.

(Образец протокола измерений)

Лабораторная работа № 1.

А. Определение объема тела правильной геометрической формы с помощью штангенциркуля.

Возьмем в качестве объекта измерений цилиндр. Его объем v равен $\frac{\pi D^2}{4} h$ (1), где D и h—соответственно диаметр и высота. Относительная ошибка измерения объема равна:

$$\frac{\Delta V}{V} = \pm\left(2\,\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h}\right) \quad (2)$$

(зарисовать штангенциркуль).

Диаметр и высоту измерить с точностью до 0,1 мм от 3 до 5 раз и результаты сразу же записывать в заранее заготовленную таблицу.

№№ изм.	D мм	ΔD мм	$\frac{\Delta D}{D}$%	h мм	Δh мм	$\frac{\Delta h}{h}$ %	$\frac{\Delta v}{v}$ %	v мм³	Δv мм³	$v \pm \Delta v$ см³
1										
2										
3										
4										
5										

Относительные ошибки измерений диаметра и высоты определяются один раз по средним значениям диаметра и его абсолютной ошибки, а также высоты и ее абсолютной ошибки.

Перед вычислением объема надо найти относительную ошибку измерений объема по формуле (2). После чего вычислить один раз объем по формуле (1), подставляя в нее средние значения диаметра и высоты и при этом результат округлить в соответствии с величиной относительной ошибки измерения объема. Далее вычислить один раз абсолютную ошибку Δv и округлить ее должным образом.

Б. Определение площади поперечного сечения проволоки с помощью микрометра.

(Зарисовать микрометр).

Площадь поперечного сечения (S) круглой проволоки равна: $S = \frac{\pi D^2}{4}$.. (3), где D — диаметр проволоки. Относительная ошибка измерения площади круга.

$$\frac{\Delta S}{S} = \pm 2 \frac{\Delta D}{D} \quad (4)$$

Диаметр проволоки измерить 3—5 раз в разных местах ее длины с точностью до 0,01 мм и результаты записать в заготовленную таблицу наблюдений.

№№ изм.	D мм	ΔD мм	$\frac{\Delta D}{D}$ %	$\frac{\Delta S}{S}$ %	S мм²	ΔS мм²	$S \pm \Delta S$ см²
1							
2							
3							
4							
5							

Относительная ошибка измерения площади вычисляется по средним значениям D и ΔD один раз по формуле (4). Площадь поперечного сечения также вычисляется по среднему значению D один раз по формуле (3) и при этом результат округляется в соответствии с величиной относительной ошибки площади. После этого вычисляется и округляется абсолютная ошибка измерения площади.

Приложение № 2

Значения мировых постоянных

№ №	Наименование физических величин	Единицы измерений	Значения величин
1	Постоянная Авогадро N	моль$^{-1}$	$(6,02486 \pm 0,00016) \cdot 10^{23}$
2	Постоянная Лошмидта	см$^{-3}$	$(2,68719 \pm 0,00010) \cdot 10^{19}$
3	Газовая константа, отнесенная к молю	эрг град$^{-1}$ моль$^{-1}$	$(8,31696 \pm 0,0003) \cdot 10^{7}$
4	Стандартный объем идеального газа	см^3 атм моль$^{-1}$	$22420,7 \pm 0,6$
5	Постоянная Больцмана	эрг град$^{-1}$ эв град$^{-1}$	$(1,38044 \pm 0,00007) \cdot 10^{-16}$ $(8,6167 \pm 0,0004) \cdot 10^{-5}$
6	Скорость света	км сек$^{-1}$	$299793,0 \pm 0,3$
7	Заряд электрона	ед. электростат	$(4,80286 \pm 0,00009) \cdot 10^{-10}$
	» »	ед. электромагн.	$(1,60206 \pm 0,00003) \cdot 10^{-20}$
8	Масса покоя электрона	г	$(9,1083 \pm 0,0003) \cdot 10^{-28}$
9	Масса покоя протона	г	$(1,67239 \pm 0,00004) \cdot 10^{-24}$
10	Масса покоя нейтрона	г	$(1,67470 \pm 0,00004) \cdot 10^{-24}$
11	Атомная масса электрона	физич. шкала	$(5,48763 \pm 0,00006) \cdot 10^{-4}$
12	Атомная масса протона	» »	$1,007593 \pm 0,000003$
13	Атомная масса водорода	» »	$1,008142 \pm 0,000003$
14	Атомная масса нейтрона	» »	$1,008982 \pm 0,000003$
15	Атомная масса дейтерия	» »	$2,014735 \pm 0,000006$
16	Атомная масса дейтона	» »	$2,014180 \pm 0,000005$

№№ п-п	Наименование физических величин	Единицы измерений	Значения величин
17	Отношение массы протона к массе электрона		1836,12±0,02
18	Отношение заряда электрона к его массе	ед. элект-рост. $г^{-1}$	$(1,75890 \pm 0,00002) \cdot 10^{17}$
		ед. электро-маг. $г^{-1}$	$(5,27305 \pm 0,00007) \cdot 10^{7}$
19	Постоянная Планка h	эрг сек.	$(6,62517 \pm 0,00023) \cdot 10^{-27}$
	Постоянная Планка $\frac{h}{2\pi}$	эрг сек.	$(1,05443 \pm 0,00004) \cdot 10^{-27}$
20	Постоянная Фарадея	ед. элстат. $моль^{-1}$	$(2,89366 \pm 0,00003) \cdot 10^{14}$
21	Радиус первой Боровской орбиты	см	$(5,29172 \pm 0,00002) \cdot 10^{-9}$
22	Классический радиус электрона r_0	см	$(2,81785 \pm 0,00004) \cdot 10^{-13}$
	r_0^2	$см^2$	$(7,94030 \pm 0,00021) \cdot 10^{-26}$
23	Постоянная Вина	см град.	(0,289782±0,000013)
24	Постоянная Стефана-Больцмана	эрг $см^{-2}$, $град^{-4}$ $сек^{-1}$	$(0,56687 \pm 0,00010) \cdot 10^{-4}$
25	Магнетрон Бора	эрг $гаусс^{-1}$	$(0,92731 \pm 0,00002) \cdot 10^{-20}$
26	Магнитный момент электрона	эрг $гаусс^{-1}$	$(0,92837 \pm 0,00002) \cdot 10^{-20}$
27	Ядерный магнетон	эрг $гаусс^{-1}$	$(0,505038 \pm 0,000018) \cdot 10^{-23}$
28	Магнитный момент протона	эрг $гаусс^{-1}$	$(1,41044 \pm 0,00004) \cdot 10^{-23}$
29	Соотношения между энергией и массой:		
	1 грамм массы	МЭВ	$(5,61000 \pm 0,00011) \cdot 10^{26}$
	1 электронная масса	»	(0,510976±0,000007)

Наименование физических величин	Единицы измерений	Значения величин
1 единица атомной массы	МЭВ	$(931{,}141 \pm 0{,}010)$
1 протонная масса	»	$(938{,}211 \pm 0{,}010)$
1 нейтронная масса	»	$(939{,}505 \pm 0{,}010)$
30 Соотношение между ЭВ и эргом	1 эв эрг$^{-1}$	$(1{,}602206 \pm 0{,}000003)\ 10^{-12}$
31 Постоянная Ридберга и ее производные R_∞	см$^{-1}$	$109737{,}309 \pm 0{,}012$
$R_\infty . c$	сек$^{-1}$	$(3{,}289848 \pm 0{,}000003) . 10^{15}$
$R_\infty . h . c$	эрг	$(2{,}17958 \pm 0{,}00007) .\ 10^{-11}$
32 Ионизированный потенциал водорода	эв	$13{,}59765 \pm 0{,}00022$

ЛИТЕРАТУРА

1. **А. М. Турчин.** Электрические измерения неэлектрических величин, 1954 г.
2. Краткий политехнический словарь.
3. **М. Ф. Маликов.** Введение в технику измерений, 1952 г.
4. **В. М. Брадис.** Средства и способы элементарных вычислений.
5. **Б. В. Гнедко и А. Я. Хинчин.** Элементарное введение в теорию вероятностей.
6. Физический практикум под редакцией В. И. Ивероновой.
7. **Т. Н. Богданова и Е. П. Субботина.** Руководство к практическим занятиям по физике.
8. **А. А. Покровский и Б. С. Зворыкин.** Фронтальные лабораторные занятия по физике.
9. **П. А. Знаменский.** Методика преподавания физики.
10. **В. С. Попов.** Электрические измерения и приборы, 1958 г.
11. Успехи физических наук, 1958 г. т. 65, вып. 4, стр. 727.

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

Ц. М. РАБИНОВИЧ

К ИЗУЧЕНИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Понятие о магнитном поле весьма четко и ясно определено в науке. Давно выяснена сущность магнитного поля, его связь с движущимися электрическими зарядами. Вместе с тем изложение темы «Магнитное поле» в учебниках по общей физике для высшей школы страдает существенными недостатками. Важнейшим из этих недостатков является отсутствие последовательности в формировании основных понятий этой темы. Такими понятиями являются напряженность магнитного поля, магнитный полюс, магнитный диполь и некоторые другие.

Трудности в изложении данного вопроса связаны, в первую очередь, с устаревшим понятием о магнитной массе, которое до недавнего времени было основным и из которого исходили в формировании других понятий. Так, напряженность магнитного поля определялась как сила, с которой поле действует на единицу магнитной массы. Магнитным полюсом называли точку или вернее, небольшую область магнита, где сконцентрирована магнитная масса и т. д. Понятие магнитной массы органически вплеталось в вывод магнитодвижущей силы, с ним связывалась работа в магнитном поле и т. п. Отказ от понятия магнитной массы потребовал пересмотра не только формальной магнитостатики, но и в значительной степени электромагнетизма. Это, конечно, нелегко сделать. Вот почему мы продолжаем и сейчас пользоваться в высшей школе учебниками, где электромагнетизм излагается по старинке.

Авторы некоторых учебников не смогли освободиться от понятия магнитной массы, от которого давно отказалась наука. Так, например, в духе старых традиций, основанных на по-

нятии о магнитной массе, выдержано изложение электромагнетизма в учебниках для высшей школы «Курс физики» под редакцией Н. Д. Папалекси и «Курс физики» Н. В. Кашина.

В учебнике, изданном группой авторов под редакцией Н. Д. Папалекси (1948 г.), говорится прямо о «магнитных зарядах», приводится закон Кулона для магнитных масс, величины m_1 и m_2, входящие в закон Кулона, называются «количествами магнетизма» (стр. 162). Правда, сразу после этого учебник на целой странице объясняет читателю, что «разноименные магнитные заряды, в отличие от электрических, **не отделимы друг от друга»** (разрядка автора) и что фактически, «никаких магнитных зарядов и диполей не существует» (стр. 163).

Затем следует попытка ввести понятие напряженности магнитного поля, не пользуясь магнитной массой. Однако в дальнейшем авторы вновь возвращаются к «магнитным зарядам», очевидно, не сумев обойтись без них при изложении магнитной индукции.

Также непоследователен в данном вопросе учебник Н. В. Кашина (1951 г.).

Здесь в самом начале курса электричества рядом с законом Кулона для электрических зарядов по аналогии дается закон Кулона для магнитных масс и проводится обычное определение единицы количества магнетизма в системе CGSM. Затем, опять-таки приводится гипотеза молекурярного магнетизма Апмера в качестве доказательства того, что «нет магнитных зарядов, как таковых»... (стр. 145), и, как бы успокоив себя и читателя этой оговоркой, автор использует затем понятие магнитной массы или магнитного заряда в законе Био и Савара и далее. На нем фактически построено изложение всего электромагнетизма.

Первую серьезную попытку построить изложение электромагнетизма без понятия магнитной массы мы встречаем в учебнике «Курс общей физики» С. Э. Фриша и А. В. Тиморевой (издания 1948—1955 годов). Авторы применяют принципиально новый метод изложения, основанный на взаимодействии токов.

Часть VI учебника (т. II), посвященная электромагнитным явлениям, начинается с взаимодействия параллельных токов. Затем в качестве индикатора магнитного поля тока берется прямоугольная рамка с током. На этом и строится все изложение, которое кажется на первый взгляд обоснованным и привлекает тем, что готовит почву для молекулярной теории магнетизма и дает возможность обойтись без «магнитной мас-

сы»... Однако хороший замысел авторов не доведен ими до логического конца. И в целом изложение электромагнетизма, может быть, и оригинально задуманное, оказывается в этом учебнике не очень удачным.

Каждый, кому приходилось излагать вопрос о взаимодействии параллельных и антипараллельных токов, знает, как легко и просто объясняется это взаимодействие правилами правой и левой руки. Первое, чтобы найти направление силовых линий вокруг проводника с током, а второе — для определения направления силы, с которой магнитное поле действует на проводник с током. Но здесь этими правилами воспользоваться нельзя, так как о них речь идет позднее. Нет подготовленной почвы для вывода формулы силы взаимодействия между параллельными токами, так как общеизвестный вывод этой формулы основан на законе Ампера, о котором опять-таки речь идет позднее.

Здесь авторы опираются только на эксперимент, который можно продемонстрировать и на лекции, а от него переходят к действию линейного проводника с током на маленькую рамочку с током. Однако поведение рамочки в магнитном поле прямого тока не получает в учебнике того логического объяснения, которое можно дать на основе взаимодействия параллельных и антипараллельных токов. Ведь все дело в том, что к линейному току, создающему основное магнитное поле, маленькая рамочка поворачивается той стороной, в которой течет ток, параллельный линейному току. Другая же сторона рамки, в которой течет ток антипараллельный основному линейному току, отталкивается от него. Поэтому и получается пара сил, которая вращает рамочку в магнитном поле тока и устанавливает ее плоскость в радиальном направлении к основному току. Рисунок, которым учебник сопровождает объяснения (см. рис. 163, стр. 306, изд. 1949 г.), явно может сбить с толку читателя. Он попросту неверен. Положение, которое изображено в учебнике, — неустойчиво. При самом незначительном отклонении рамочка повернется на 180° и встанет так, как указано на рис. 1.

Затем в учебнике дается определение напряженности магнитного поля, как величины пропорциональной моменту пары сил, действующих на рамку. Совершенно формально вводится само понятие напряженности, исходя из того, что

$$H \sim \frac{M}{P_m},$$

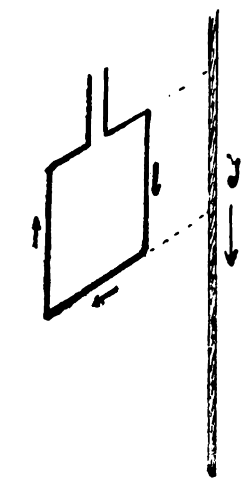


Рис. 1.

где M — момент вращающий рамку, а Pm — магнитный момент самой рамки. От пропорциональности переходят к равенству, в котором коэффициент неизвестно почему кладется равным C^2.

Автор статьи на собственном опыте и на опыте других преподавателей курса общей физики, лекции которых по этой теме посетил (например лекции по общей физике в Мелекесском педагогическом институте), убедился, что такое формальное введение понятия напряженности очень затрудняет изложение, плохо воспринимается студентами.

Ко всему этому следует добавить, что поступившись многим для того, чтобы избежать понятия «магнитной массы», авторы в конце концов не могут без него обойтись и вводят его при изложении вопросов, связанных с работой в магнитном поле. И опять-таки здесь идет речь о «воображаемых магнитных зарядах» и даже о «воображаемом магнитном полюсе» (стр. 368), хотя у каждого магнита два действительных, а не воображаемых полюса. Таким образом, цель, во имя которой чрезвычайно затруднено изложение, не достигнута. Формализм понятия о «магнитной массе» не преодолен.

Более продуманно изложение вопроса в «Курсе физики» К. А. Путилова.

Здесь дается материалистическое определение магнитного поля: «Магнитное поле — это та же форма **материи, которая представляет собой основу электрического поля,** но в состоянии **иных** скрытых движений, возникающих вследствие перемещения электрического поля и проявляющихся в пространстве (даже в совершенном вакууме) в виде **особого рода сил,** которые легко распознаются по своему действию на магниты, но в сущности являются **силами, действующими только на движущиеся электрические заряды»** (выделено автором).

Изложение начинается с магнитостатики, но в отличие от фиктивной единицы «магнитной массы», автор вводит понятие единицы магнитного полюса. Могут сказать, что название не меняет дела. С этим согласиться нельзя. Магнитной мас-

сы нет, ее нельзя выделить, собрать, она не реальна. А полюс — физический объект вполне реальный. У каждой магнитной стрелки имеются два полюса и они действительно взаимодействуют с полюсами других стрелок и магнитов по закону Кулона, который можно проверить на опыте, если магниты достаточно длинные.

Введением понятия о единичном магнитном полюсе автор сохраняет все преимущества строгого, в течение многих лет разрабатываемого, метода изложения электромагнетизма. Все делается в обоснованной последовательности. Напряженность магнитного поля, единица тока в системе CGSM и другие понятия формируются на основе понятия о магнитном полюсе, как это делалось раньше на основе понятия магнитной массы. Немаловажным является сохранение историзма в изложении вопросов электромагнетизма, но главное — сохраняется необходимая стройность и логическая последовательность в формировании понятий.

Учебник К. А. Путилова является одним из лучших современных учебников по общей физике как по стремлению дать строго научную систему изложения, так и по насыщенности современным экспериментальным материалом. Этот учебник, конечно, необходимо рекомендовать студентам для их самостоятельной работы над курсом.

Все же нельзя не отметить и слабой стороны изложения в этом учебнике вопросов электромагнетизма. Эта слабость заключается, на наш взгляд, в определении напряженности магнитного поля через силу, действующую на единичный магнитный полюс, в то время как характерным для магнитного поля является его действие на магнитный диполь. Магнитный полюс никогда не бывает обособленным, он всегда связан с равным ему по величине противоположным магнитным полюсом. Для определения напряженности магнитного поля тока или любого магнита обычно пользуются как индикатором не обособленным магнитным полюсом, а обязательно диполем, магнитной стрелкой в целом и она практически бывает вовсе не длинной.

Помещая магнитную стрелку в поле прямого проводника с током или в однородное магнитное поле, мы всегда замечаем действие пары сил, ориентирующих стрелку, а не одной какой-то силы на изолированный полюс. Последний случай является абстракцией, которую можно допустить при изложении в виде исключения при крайней необходимости.

Изложение по учебнику К. А. Путилова, имеющее ряд пре-

имуществ в данном пункте, менее оправдано, чем изложение по учебнику С. Э. Фриша и А. В. Тиморевой. При таком изложении материала на лекциях (по К. А. Путилову) мы отмечали путаные представления у студентов по поводу пондеромоторного действия магнитного поля тока на магнитный полюс, на стрелку, на намагниченное тело и т. п. Иногда у студентов создается неверное представление об обязательном поступательном движении северного полюса вдоль силовой линии. Соглашаясь всецело с К. А. Путиловым, что магнитный полюс реален, что его можно характеризовать какой-то физической величиной, определяемой из взаимодействия магнитов, либо каким-то другим образом, мы считаем необходимым одновременно указать на особенность этого взаимодействия, которое заключается в первую очередь в появлении пары сил, действующих одновременно на два полюса магнита.

При этом, как показывает опыт, весьма полезным является сопоставление магнитной стрелки и индикаторной рамки с током, их параллельное использование в изложении. Между тем авторы двух рассмотренных выше последними учебников придерживаются здесь как бы полярно противоположных точек зрения. В учебнике С. Э. Фриша и А. В. Тиморевой предпочтение отдано индикаторной рамке с током. В учебнике К. А. Путилова о рамке с током сказано вскользь, в основу изложения положена магнитная стрелка и даже не вся стрелка, а один из ее полюсов.

Не преследуя цели создать полную методику изложения вопросов электромагнетизма в курсе общей физики, нам хочется высказать лишь несколько положений, на которые можно опереться при формировании некоторых важных понятий. Приводимые здесь рассуждения являются следствием практического исследования различных вариантов изложения вопросов электромагнетизма в курсе физики педагогического института, к которому предъявляются особые требования в смысле логической последовательности и методической продуманности.

Как показывает опыт, изложение электромагнетизма целесообразнее всего начать с изучения магнитного поля тока, которое легко обнаруживается с помощью магнитной стрелки при демонстрации явления Эрстеда. При этой демонстрации сразу выясняется характер взаимодействия. На магнитную стрелку, помещенную в магнитное поле тока, действует пара сил, поворачивающих стрелку на некоторый угол. Обычно на лекции опыт Эрстеда демонстрируется с горизонтально на-

тянутым проводом, по которому пропускается ток и с магнитной стрелкой на подставке. Желательно наряду с этим опытом показать и другой, где проводник с током натянут вертикально и продет сквозь лист толстого картона (см. рис. 247 учебника К. А. Путилова). Если на картон поставить несколько малых магнитных стрелок на подставках, они своей ориентацией в магнитном поле тока докажут наличие вращающих пар сил. Этот опыт удобен также для введения понятия о магнитных силовых линиях, правила для определения направления магнитных силовых линий и т. д.

Одновременно полезно также показать на опыте действие магнитного поля тока на маленькую индикаторную рамку с током. Такая рамочка состоит из нескольких десятков витков тонкой изолированной проволоки. Подвешенная на тонкой шелковой нити (а не на подводящих проводничках, которые могут при этом оставаться ненатянутыми), такая рамочка будет свободно ориентироваться в поле вертикального прямого тока.

Магнитная стрелка должна рассматриваться как магнитный диполь. Представление о магнитной стрелке как о диполе создается по аналогии с представлением об электрическом диполе, который изучается в электростатике. Об электрическом диполе известно, что он имеет электрический момент $P_e = ql$, где q — электрический заряд, l — расстояние между положительным и отрицательным зарядами, создающими диполь. Аналогично можно ввести магнитный момент магнитной стрелки $P_m = ml$, где l — расстояние между полюсами магнитного диполя, а m — величина, характеризующая степень намагниченности полюсов. Физическое содержание этой величины вскрывается при сравнении магнитной стрелки и рамки с током. Последняя ведет себя как диполь или как магнит, сплющенный в одну плоскость, в листок. Одна сторона магнитного листка (глядя на которую, мы видим ток идущий против часовой стрелки) будет северным полюсом, а другая сторона (глядя на которую, мы видим ток идущим по часовой стрелке) — южным полюсом этого тончайшего магнита. Расстояние между полюсами этого магнита измерить невозможно, так как область северного от южного полюса здесь отделена просто плоскостью. Поэтому магнитный момент такого магнита определяют и рассчитывают другими путями. Он оказывается равным $P_m = JS$, где S — площадь рамки, а J — ток, идущий в рамке (если в рамке n витков, ее магнитный момент в n раз больше).

Сравнивая рамку с током и магнитную стрелку, можно сказать, что намагниченность магнитной стрелки, степень которой характеризуется величиной m, имеет своим происхождением молекулярные токи, образующие внутри магнитов множество магнитных листков. Следовательно, m зависит от величины этих молекулярных токов, от площади, охватываемой каждым из этих токов и т. п. То есть m — величина, определяемая молекулярными токами внутри магнитной стрелки или любого другого магнита. Эту величину можно называть величиной магнитного полюса, как это делает К. А. Путилов, но при этом необходимо подчеркнуть, что она характеризует степень намагниченности данного магнита и зависит от молекулярных токов в нем.

Подготовив таким образом слушателей, можно перейти к определению напряженности магнитного поля, как векторной величины, которая в каждой точке данного поля определяет моменты сил, действующих на магнитные диполи. За направление магнитной напряженности принимается направление силы, которая в данной точке поля действует на северный полюс диполя. Однородным магнитным полем называется такое поле, напряженность которого сохраняет в данной части пространства величину и направление. Далее рассматривается магнитный диполь в однородном поле (рис. 2). Механический момент, который действует на диполь определяется формулой

$$M = P_m H \sin\alpha.$$

Если $\alpha = 90^0$, $M_{max} = P_m H$; Отсюда $H = \frac{M}{P_m}$.

Поскольку механический момент действующей пары сил, может быть представлен как $M = Fl$, то

$$H = \frac{Fl}{ml} = \frac{F}{m}.$$

Таким образом, мы приходим к выводу, что напряженность магнитного поля численно определяется силой, которая действует на каждый из полюсов магнитного диполя, у которого $m = 1$. Диполь с такими «единичными полюсами» может быть изготовлен как эталонный диполь на основе закона Кулона для взаимодействия магнитных полюсов. В данном месте изложения уместно привести закон Кулона для магнитных полюсов, но не следует развивать здесь другие идеи магнитостатики.

Затем можно перейти к рассмотрению магнитного поля тока, изложить закон Био-Савара и вывести формулы напряженности магнитного поля прямого и кругового токов так, как

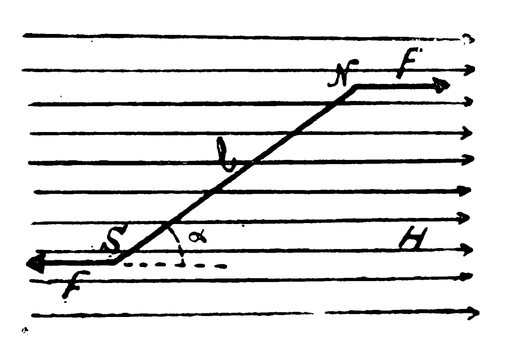


Рис. 2.

это сделано, например, в учебнике «Курс физики» А. А. Арцыбышева (ч. II, 1955 г., стр. 110—114). Здесь понятие напряженности тоже связывается с вращающим моментом, а не просто с силой, действующей на один магнитный полюс.

Вслед за этим полезно рассмотреть линейный интеграл напряженности магнитного поля по аналогии с линейным интегралом напряженности электрического поля. M=S*Hdl. Показать, что в отличие от электрического поля эта величина для магнитного поля может отличаться от нуля M=S*Hdl=O для замкнутой кривой, не охватывающей токи, и M = S*Hdl =4πΣJ для замкнутой кривой, охватывающей токи. В частности, когда замкнутая кривая охватывает n одинаковых токов или n раз один и тот же ток.

$$M = 4\pi Jn.$$

Так же как для электрического поля, величина E =S*Edl (электродвижущая сила) имеет размерность работы, отнесенной к единице электрического заряда, величина M (магнитодвижущая сила) имеет размерность работы, отнесенной к единичному магнитному полюсу, для которого m = 1;

Пользуясь линейным интегралом напряженности, легко определить напряженность магнитного поля соленоида.

$$H = \frac{4\pi nJ}{l}, \text{ где } l —$$

Примечание. Знак S* мы применяем вместо значка интеграла по замкнутому контуру, которого не оказалось в типографии.

длина соленоида, n—число его витков. Если сечение соленоида S, то поток магнитной напряженности, выходящий из соленоида $\Phi = HS = \frac{4\pi n\ JS}{l}$. Демонстрируя поле соленоида и поле полосового магнита, ссылаясь на сходство этих полей, можно снова найти возможность выяснить физическую сущность величины, характеризующей магнитный полюс. Если положить $\Phi = 4\pi m$ по аналогии с теоремой Остроградского—Гаусса для потока электрической напряженности (при $\varepsilon = 1$), то отсюда на первый взгляд следует существование «магнитных зарядов» — m, но, сравнив поток магнитной напряженности, создаваемый постоянным магнитом, и поток магнитной напряженности соленоида, мы получаем возможность выяснить еще раз физический смысл величины m.

$$\Phi = 4\pi m = \frac{4\pi nJS;}{l} \quad \text{Отсюда} \quad m = \frac{\Phi}{4\pi} = \frac{nJS}{l}.$$

Таким образом, мы приходим к выводу, что величина m, которую мы называли до сих пор величиной магнитного полюса и которую до недавнего времени называли «количеством магнетизма» или «магнитной массой», есть фактически величина пропорциональная потоку магнитной напряженности, выходящей из магнитного полюса. Коэффициентом пропорциональности служит $\frac{1}{4\pi}$.

Каждому соленоиду, как и постоянному магниту, можно отнести некоторую величину $m = \frac{nJS}{l} = NJS$, где N—число витков, приходящихся на единицу длины соленоида. Мы видим по данной формуле, что m можно выразить в ампервитках$\times$см^2. Это вполне реальная физическая величина, с конкретным физическим содержанием. Мы снова убеждаемся, что величина m для постоянного магнита должна характеризоваться величиной и количеством молекулярных токов и площадями охватываемых ими витков.

Положив m = 1, мы можем выяснить сущность того физического объекта, который мы до сих пор называли единичным магнитным полюсом.

$$m = \frac{\Phi}{4\pi} = 1, \text{ тогда } \Phi = 4\pi.$$

Единичным будем называть магнитный полюс, из которого выходит поток магнитной напряженности численно равный 4 π

После того как изучено действие магнитного поля на проводник с током (закон Ампера) можно вывести формулу для силы взаимодействия между параллельными и антипараллельными токами $F = \frac{2J_1J_2}{d} l$ и, применяя соответственные правила, выяснить направление сил взаимодействия — притягивание у параллельных и отталкивание у антипараллельных токов. После этого можно вернуться к поведению рамки с током в магнитном поле прямого тока (см. рис. 1), выяснить причины, заставляющие рамку устанавливаться в плоскости проходящей через прямой ток. Здесь еще глубже раскрывается содержание понятия о магнитном листке как о круговом токе, о любом магните как о теле, в котором имеются замкнутые круговые токи. Так слушатели последовательно подготавливаются к восприятию молекулярно-электрической теории ферра, пара и диамагнетизма.

Дальнейшее изложение электромагнетизма можно вести как обычно, например, по учебникам К. А. Путилова или А. А. Арцыбышева. Но, следуя варианту любого из этих учебников, мы оперируем в дальнейшем правильно сформированным понятием о напряженности магнитного поля, понятиями магнитного полюса и единичного магнитного полюса, в которые, как мы показали выше, можно вложить вполне конкретное физическое содержание.

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

И. С. ФРОЛОВ

К ВОПРОСУ О ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ И ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛАХ

При изучении вращательного движения материальной точки вокруг оси учащиеся школ и студенты вузов часто путают понятия центробежная и центростремительная силы. Нередко можно услышать на экзаменах, уроках и практических занятиях ответы примерно такого содержания: центростремительная и центробежная силы приложены к вращающемуся телу, они взаимно уравновешиваются и т. п. При этом не объясняется, к какой же системе отсчета относится движение рассматриваемого тела.

Физика учит, что в природе нет абсолютно неподвижной системы отсчета, относительно которой можно было бы изучать абсолютное движение данного тела. Всякое физическое движение есть движение относительное. Иначе говоря, мы всегда изучаем движение одного тела относительно другого, которое и принимается за тело или систему отсчета (за систему координат).

Тело (или система тел), относительно которого другое тело движется прямолинейно и равномерно, когда на него не действуют никакие внешние силы, наз. инерциальной системой отсчета. На всякое тело всегда действуют другие тела. Поэтому слова «на тело не действуют силы» следует понимать в том смысле, что внешние взаимодействия на данное тело уравновешены, т. е. скомпенсированы. В инерциальной системе отсчета выполняется закон инерции и все другие законы механики.

Инерциальной системой отсчета может служить любая изолированная материальная система, занимающая ограниченную область пространства. Например, приближенно в неко-

торых случаях за инерциальную систему отсчета можно принимать поезд, самолет, корабль, машину и т. д., если эти тела движутся прямолинейно и равномерно. Но такие движения на практике трудно осуществимы. Система отсчета, связанная с неподвижными телами на поверхности Земли, будет точнее приближаться к инерциальной системе. Однако и она не является строго инерциальной системой, так как Земля, двигаясь по орбите вокруг Солнца, вращается вокруг свой оси, на Землю действуют Солнце, Луна и другие планеты. Более точной инерциальной системой является система отсчета, связанная с Солнцем, поскольку влиянием внешних воздействий на солнечную систему можно пренебречь. Конечно и в движении солнечной системы происходят изменения, но за сравнительно небольшие промежутки времени они мало заметны.

Из рассмотренных примеров видно, что понятие инерциальная система отсчета является абстракцией, так как в природе нет абсолютно изолированных тел, систем тел. Поэтому физическая система может рассматриваться как инерциальная лишь приближенно, однако с вполне достаточной для практики точностью.

В инерциальных системах действуют законы сохранения количества движения, энергии, механического момента, массы и др.

Инерциальные системы координат являются преимущественными. В них точно и наиболее просто устанавливаются зависимость между движениями тел и их взаимодействиями. Для движения тел солнечной системы инерциальной системой является гелиоцентрическая система координат Коперника.

Все инерциальные системы координат равноправны, эквивалентны; во всех таких системах физические явления и законы протекают одинаково. Зависимость между одновременными движениями данного тела относительно разных инерциальных систем координат для механических движений, медленных сравнительно со скоростью света, находит выражение в преобразованиях Галилея, а для движений, скорость которых сравнима со скоростью света, такая зависимость определяется преобразованиями Лоренца.

Системы отсчета, движущиеся с ускорением, называются неинерциальными. В таких системах появляются силы инерции.

Сила инерции — вектор, направленный противоположно ускорению движущейся точки и по величине равный произведению массы последней на ее ускорение: $F = -ma$, где ускоре-

ние a определяется по отношению к инерциальной системе отсчета.

В случае прямолинейного движения сила инерции направлена в сторону, противоположную направлению скорости, если точка движется ускоренно, и в ту же сторону, если движение— замедленное. При криволинейном движении центробежная сила инерции всегда направлена по радиусу (нормали) к окружности (траектории) от центра кривизны в сторону выпуклости. Проявляется эта сила в том, что движущееся тело по окружности в конечном счете действует на нить или стержень, удерживающие его на круговой траектории.

Сила инерции всегда приложена к движущимся точке или телу.

Возникновение силы инерции можно пояснить на следующем примере. Пусть на рельсах стоит вагон, в котором находится стол с идеально гладкой поверхностью и на нем лежит шарик (рис. 1).

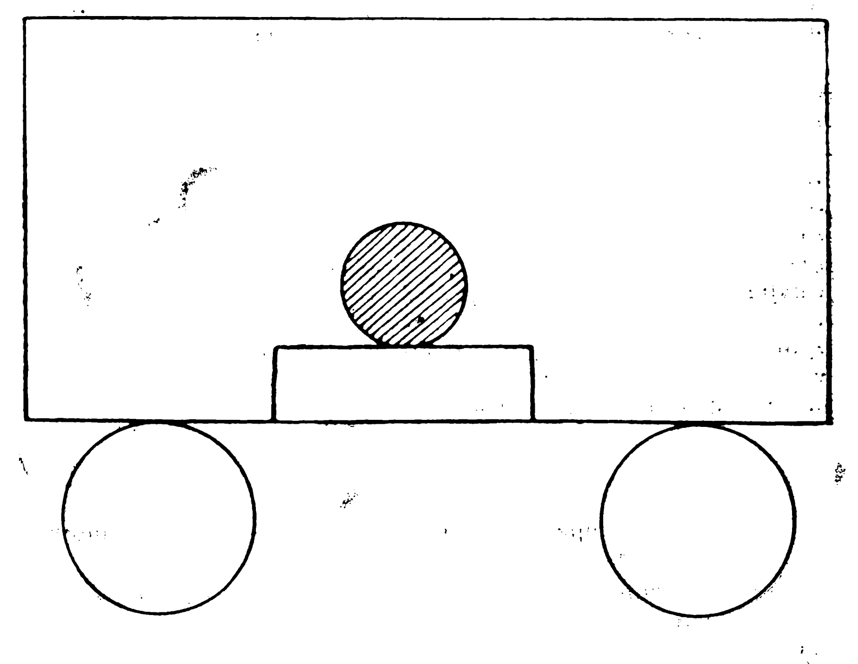


Рис. 1.

Когда вагон стоит или движется прямолинейно и равномерно, шарик остается на столе. Но если вагон получит ускорение, например, вправо, то шарик относительно вагона покатится влёво. Как объяснить такое явление?

В инерциальной системе отсчета дело обстоит так: вагон ушел вправо, а шарик по закону инерции пребывает в состоянии покоя. С точки зрения наблюдателя, находящегося в вагоне, т. е. в неинерциальной системе отсчета, это явление можно объяснить тем, что на шарик стала действовать сила инерции, направленная влево и поэтому относительно вагона он стал двигаться влево.

При движении по криволинейной траектории возникающая сила инерции приложена к движущемуся телу и равна по величине центростремительной силе. Но для неинерциальных систем отсчета центростремительной силы не существует.

Введение сил инерции во многих случаях облегчает составление уравнений, решение практических задач. Силами инерции широко пользуются в механике, особенно теоретической и технической. Однако при этом возникают большие трудности в обосновании физического смысла и природы этих сил.

Вот один из многих примеров, в котором понятие сила инерции может быть использовано. Через блок перекинут шнур, к концам которого подвешены грузики с массами. При m_1 большем m система движется по часовой стрелке. Чему равно ускорение a и натяжение нити Q? На тело с массой m действует сила тяжести mg и сила инерции—ma. Ускорение a для этого тела направлено вверх, а сила инерции вниз. Равнодействующая этих сил равна $Q=mg+ma$. Это и есть натяжение шнура. На тело m_1 действует сила тяжести m_1g и сила инерции — m_1a, направленная вверх (ускорение а для тела m_1 направлено вниз). Равнодействующая их равна $m_1g—m_1a$. Это есть то же натяжение шнура. Следовательно, натяжение шнура $Q=mg+ma=m_1g—m_1a$, отсюда

$$a=\frac{m_1-m}{m_1+m}g.$$

Конечно, этот пример можно было решать и в инерциальной системе отсчета, без привлечения сил инерции.

На ряде примеров мы хотим показать, во-первых, как следует пользоваться инерциальной системой отсчета и понятием центростремительная сила и, во-вторых, как пользоваться понятием центробежная сила инерции, которая приложена

к вращающемуся телу, численно равна центростремительной силе и направлена от центра кривизны.

Но что такое сила вообще?

Сила — мера воздействия на материальную точку (частицу) со стороны других тел или полей. Причем сила характеризует величину и направление этого воздействия, которое проявляется в том, что меняется скорость тела, т. е. состояние его движения.

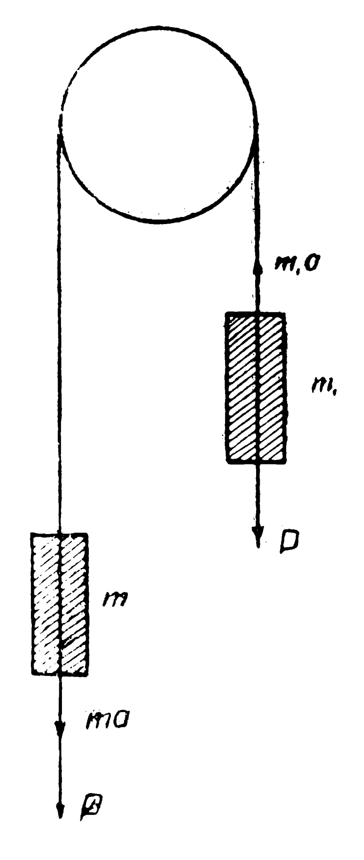


Рис. 2.

Одновременное воздействие нескольких тел на данное тело характеризуется силой, изображаемой диагональю параллелограмма. Заметим, что складываются только независимые силы, движения, скорости и т. д.

Не существует сил, независимых от движущейся материи.

Центростремительная сила — особая сила, сообщающая материальной точке или телу при криволинейном движении центростремительное или нормальное ускорение. Величина центростремительной силы выражается формулой $\frac{mv^2}{R}$,

где m — масса точки, v — ее линейная скорость, R — радиус кривизны траектории. Эта сила приложена к самому движущемуся телу, принуждает его двигаться по криволинейной траектории и направлена к центру кривизны траектории по радиусу к ней. Она создается, как и всякая сила вообще, действием на данное тело другого тела или других тел. В одном случае это будет сила тяготения или ее составляющая, в другом — упругая сила стержня, нити и т. д.

Центробежная сила — сила, возникающая при несвобод-

ном криволинейном движении. Численно центробежная сила равна $\frac{mv^2}{R}$ и направлена по радиусу окружности от ее центра (по главной нормали к траектории от центра кривизны).

Центробежная и центростремительная силы численно равны между собой и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны, но приложены они к разным телам, как силы действия и противодействия: центростремительная сила приложена к движущейся материальной точке, а центробежная сила — к телу, создающему связь. Так, при вращении в горизонтальной плоскости тела (камня), привязанного к веревке, центростремительная сила приложена к телу, направлена к центру окружности и заставляет его двигаться по окружности; она представляет силу действия веревки на тело. В свою очередь тело действует на веревку и эта сила направлена от центра окружности, приложена к веревке, натягивает ее и может при достаточной скорости движения вызвать обрыв веревки; такая сила наз. центробежной силой. Центробежная сила всегда действует на опору, связь, т. е. на другое тело, стесняющее свободу движения данного тела.

В неинерциальных системах отсчета необходимо учитывать силы инерции, в частности центробежную силу инерции, которая приложена к телу, совершающему криволинейное движение, направлена от центра по радиусу и тоже численно равна $\frac{mv^2}{R}$. При расчетах в неинерциальной системе координат к действующим силам прибавляются силы инерции. Например, при рассмотрении движения конического маятника необходимо учитывать силу тяжести груза, натяжение нити и центробежную силу инерции. Все эти три силы приложены к одному телу—вращающемуся грузу.

При решении многих практических задач пользование неинерциальной системой отсчета приводит к более простым результатам и на вычисления затрачивается гораздо меньше труда.

Иногда путают понятия центробежная сила и центробежная сила инерции, называя центробежной силой то, что должно называться центробежной силой инерции. В любой системе отсчета к вращающемуся телу приложена либо сила центростремительная (в неподвижной, инерциальной системе), либо центробежная сила инерции (в неинерциальной системе).

Учитель физики и студент должны свободно пользоваться при расчетах любой системой отсчета, каждый раз выбирая из

них наиболее удобную, приводящую к цели наиболее просто.

В связи с повышением общего уровня обучения, пожалуй, целесообразно знакомить с понятием силы инерции и учащихся старших классов средней школы. Но этот вопрос требует специального изучения и разработки.

Рассмотрим на конкретных примерах, как следует пользоваться понятиями центростремительная сила, центробежная сила и центробежная сила инерции при вращении точки вокруг оси.

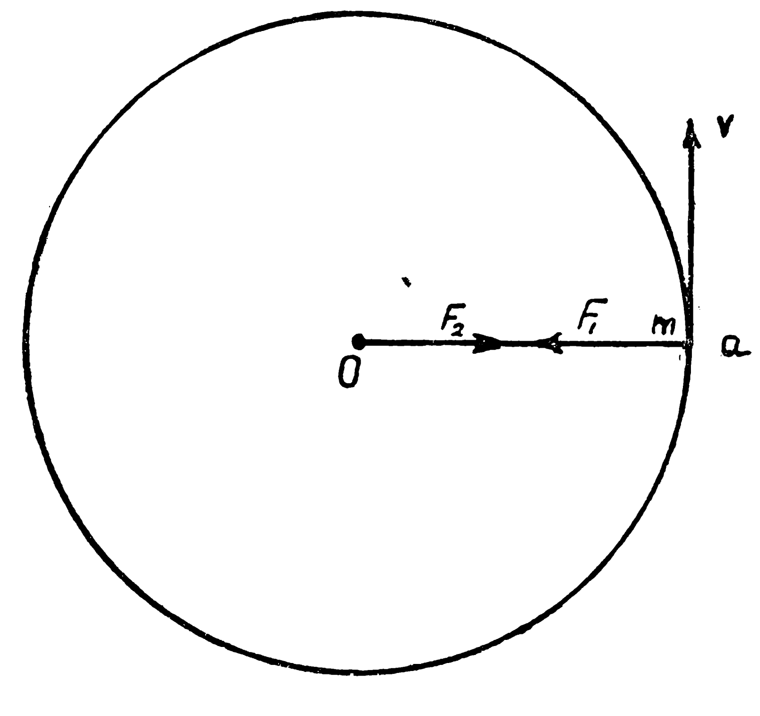


Рис. 3.

1. Груз, подвешенный к нити, вращается в вертикальной плоскости вокруг оси О (рис. 3). Относительно неподвижной системы отсчета на вращающееся тело действует центростремительная сила F_1 и вес груза. Центростремительная сила направлена к центру окружности и создается действием нити на тело.

В свою очередь по 3-му закону Ньютона тело действует на нить с силой F_2, направленной от центра, центробежной силой. Она по величине равна центростремительной силе.

Натяжение нити при прохождении телом точки а равно $\frac{mv^2}{R}$.

В неинерциальной (движущейся вместе с телом) системе отсчета на вращающееся тело действует центробежная сила инерции, приложенная к этому телу, направленная от центра, сила натяжения нити и вес тела.

Если вместо нити взять стержень, то он, вследствие молекулярных сил взаимодействия, будет действовать на груз, заставляя его двигаться по окружности. Это действие выразится центростремительной силой. В свою очередь груз действует на стержень с такой же по величине силой, приложенной к стержню, — центробежной силой.

Нить или стержень разрываются, когда их молекулярные силы взаимодействия окажутся недостаточными по сравнению с величиной центробежной силы.

В дугих положениях движущегося груза (кроме а) натяжение нити или стержня зависит не только от величины $\frac{mv^2}{R}$, но и от составляющей силы тяжести груза.

Заметим, что силы F_1 и F_2 всегда приложены к разным телам и потому они не уравновешиваются.

2. Движение планет вокруг Солнца, Луны вокруг Земли или спутников вокруг Земли.

Пусть тело с массой m движется вокруг тела с большой массой M по окружности радиуса R, с линейной скоростью v (рис. 4а). По инерции оно должно было бы двигаться в каж-

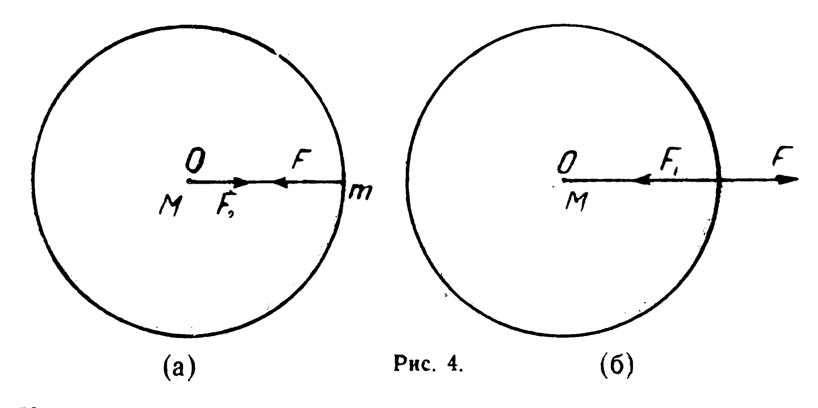


Рис. 4.

дой точке траектории по касательной к окружности прямолинейно и равномерно. Однако под действием силы F_1, с которой тело M действует на тело m, последнее (тело m) будет двигаться по окружности с постоянной по величине скоростью v, которая непрерывно изменяет свое направление, будучи направленной в каждый момент по касательной к окружности. Это центростремительная сила F_1. Она приложена к телу m, направлена к центру окружности и вызывается действием тела M на тело m. В свою очередь тело m действует, по третьему закону Ньютона на тело M с силой F_2, направленной от центра и приложенной к телу M. Это центробежная сила. По величине она равна центростремительной силе:

$$\gamma \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv^2}{R} = ma,$$

где a — центростремительное ускорение, γ — гравитационная постоянная.

Итак, центростремительная сила выступает здесь как сила тяготения. Причем здесь вся сила тяготения идет на создание центростремительной силы.

Объяснение мы вели относительно системы отсчета, связанной с телом M, которое мы принимали за неподвижное. В неинерциальной системе отсчета на тело m действует сила тяготения F_1 и центробежная сила инерции F (рис. 4б).

3. Зависимость веса тела от широты места на земной поверхности.

В первом приближении землю можно рассматривать как шар, равномерно вращающийся вокруг оси OO_1 с угловой скоростью $\omega = \frac{v}{R}$, где R — радиус шара, v — линейная скорость, направленная по касательной к окружности, расположенной в плоскости, перпендикулярной к оси вращения, r — радиус параллельного круга $r = R\cos\varphi$, φ — широта места (рис. 5).

На тело m действует сила притяжения $F = \gamma \frac{Mm}{R^2}$, направленная к центру шара O, где M — масса Земли, m — масса тела, γ — постоянная тяготения.

По отношению к неподвижной системе отсчета, т. е. инерциальной, связанной, например с Солнцем, движение тела m

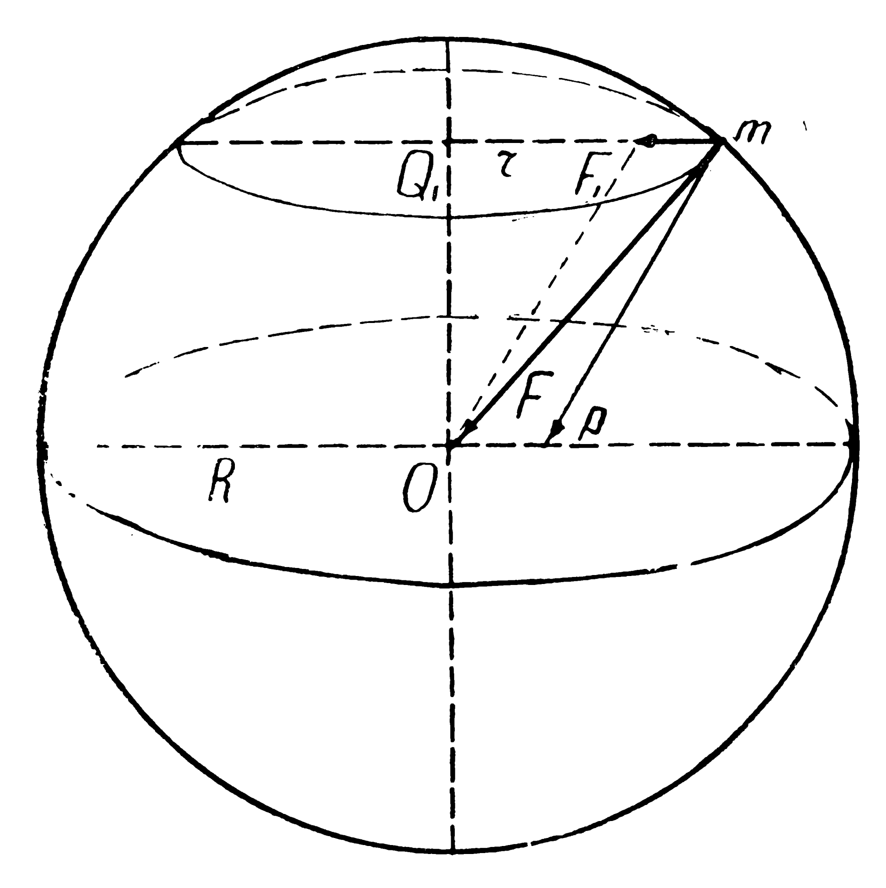


Рис. 5.

вокруг оси OO_1 происходит под действием центростремительной силы $F_1 = m\omega^2 r$, направленной по радиусу r к центру круга, параллельного экваториальному. Эта сила возникает за счет силы тяготения F и по тому вес тела равен векторной разности сил F и F_1. Значит, при вычислении веса тела P из силы тяготения F надо векторно вычитать центростремительную силу F_1. На экваторе ($\varphi = 0$) вес тела равен алгебраической разности сил F и $m\omega^2 R$; на полюсе вес тела равен силе притяжения F.

Следует обратить внимание на то, что по отношению к не-

подвижной системе отсчета для нахождения веса тела силы F и F_1 надо не складывать, а вычитать, так как центростремительная сила F_1 образуется за счет силы тяготения F.

Уменьшение веса тела в зависимости от широты места можно объяснить и по отношению к движущейся, неинерциальной системе отсчета, связанной с самим вращающимся телом. В этом случае на тело m действуют две силы: сила тяготения F и центробежная сила инерции F_2, направленная по радиусу r от центра круга, параллельного экватору. Равнодействующая этих двух сил, т. е. их векторная сумма и есть вес тела P. Причем он будет такой же, как и в первом случае (в инерциальной системе), так же как по величине силы F_1 и F_2 равны между собой (рис. 6).

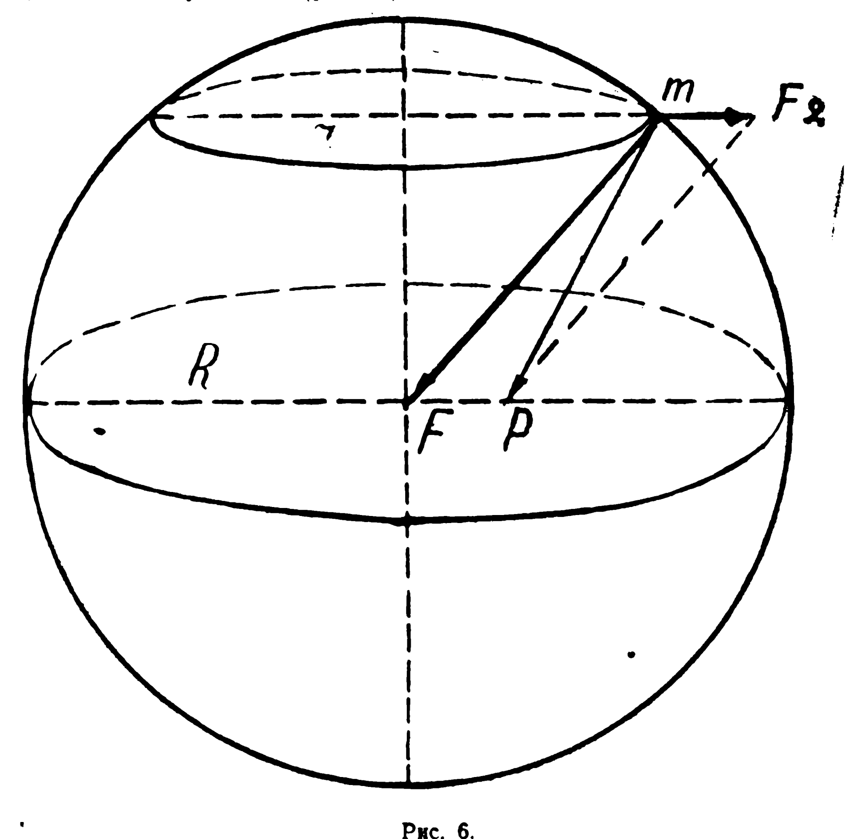


Рис. 6.

Таким образом, вычисление веса тела в инерциальной и неинерциальной системах отсчета дает один и тот же результат, как это и должно быть.

4. В качестве следующего примера рассмотрим движение тела по мосту, имеющему радиус кривизны R. При движении тела по выпуклому или вогнутому мосту сила давления на мост, вызываемая движущимся телом, определяется разностью или суммой двух сил: веса тела P и силы $\frac{mv^2}{R}$, зависящей от массы тела, скорости его движения и радиуса кривизны траектории.

Сначала возьмем случай выпуклого моста. В инерциальной системе отсчета, связанной с землей, на движущееся тело в верхней точке траектории по вертикали вниз действует сила тяжести P и центростремительная сила $\frac{mv^2}{R}$. Как возникает центростремительная сила? Поскольку других сил, направленных вниз, не существует, то естественно предположить, что она берется, вычитается из веса тела. Не будь силы тяжести, не было бы и движения по мосту. Сила давления на мост

$$Q = P - \frac{mv^2}{R}, \quad \text{отсюда} \quad P - Q = \frac{mv^2}{R}.$$

Этот результат можно истолковать следующим образом. На тело, движущееся по выпуклому мосту, действует сила тяжести P и упругая реакция со стороны моста в виде силы Q, направленной вверх (рис. 7). Разность сил P—Q, большая нуля, и дает величину центростремительной силы, направленной вниз, под действием которой тело будет двигаться по мосту. Подчеркиваем, что в этом случае центростремительная сила, реальная сила, заставляющая тело двигаться по указанной траектории, дейстительно берется из веса и потому сила давления на мост определяется разностью $P - \frac{mv^2}{R}$.

В неинерциальной системе отсчета, связанной с движущимся телом, на него действуют силы: вес и центробежная сила инерции, тоже приложенная к нему и направленная вверх. Поэтому сила давления тела на мост равна $P - \frac{mv^2}{R}$. Результат, конечно, получается тот же (рис. 8).

Теперь разберем этот же вопрос для нижней точки вогнутого моста (рис. 9).

В инерциальной системе отсчета на движущееся тело дей-

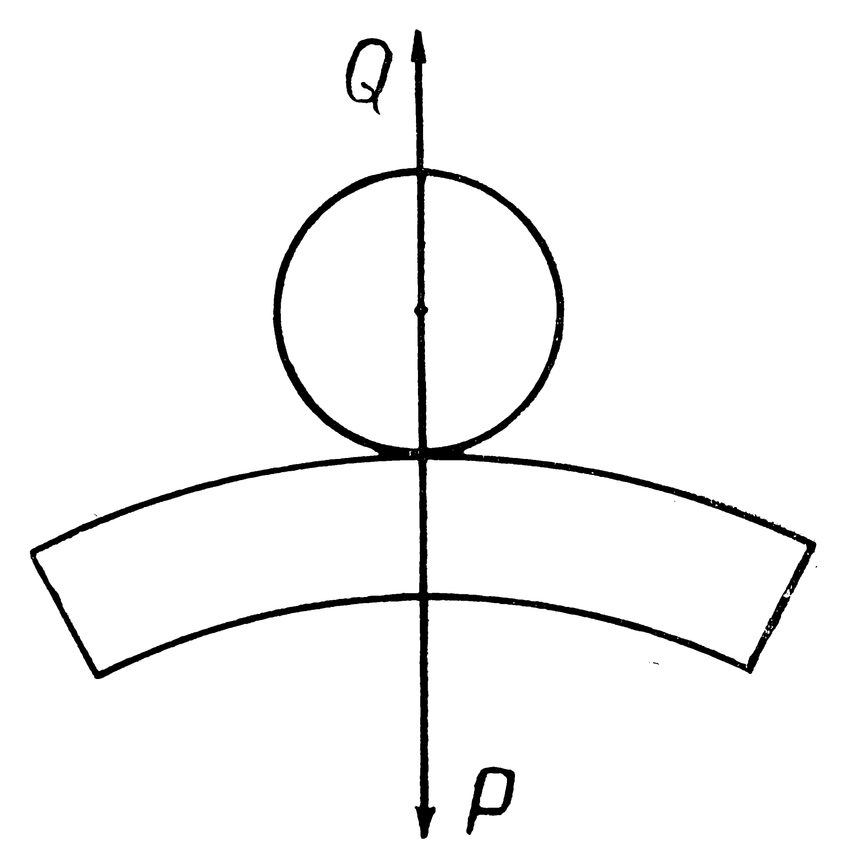


Рис. 7.

ствуют сила тяжести P и центростремительная сила $\frac{mv^2}{R}$, направленная вверх. О центростремительной силе необходимо говорить потому, что мы имеем криволинейное движение, вызываемое именно этой силой. В этом случае центростремительная сила, создаваемая за счет части силы реакции моста Q, равна

$$\frac{mv^2}{R} = Q - P,$$

$$\text{отсюда } Q = P + \frac{mv^2}{R}.$$

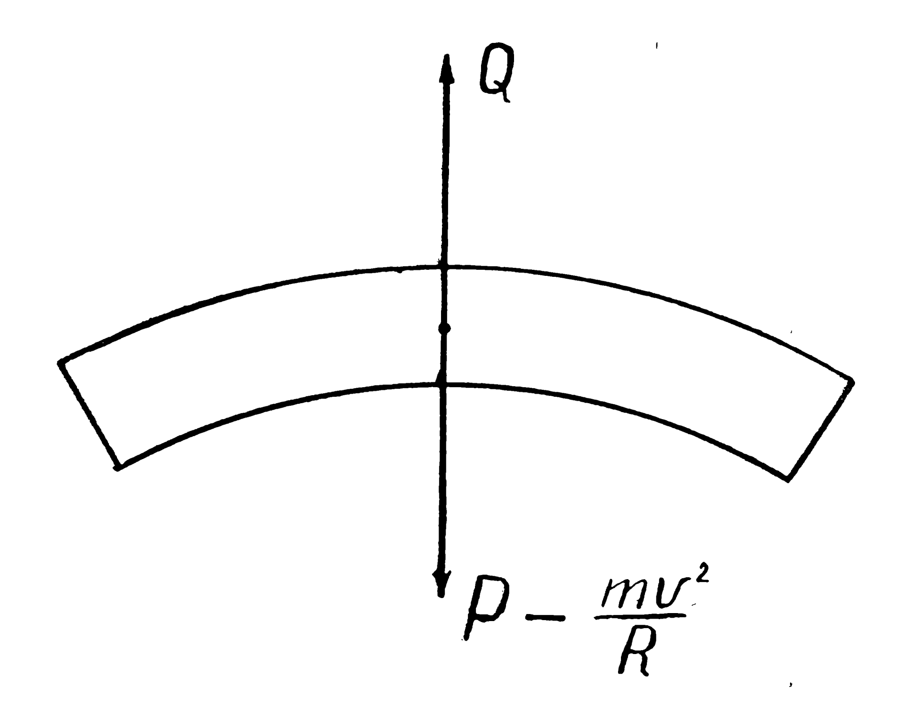


Рис. 8.

Следовательно, сила реакции со стороны моста на движущееся тело компенсирует вес тела и создает центростремительную силу, направленную вверх. Можно сказать, что центростремительная сила здесь берется из силы реакции моста Q.

На мост со стороны движущегося тела действует сила давления $Q = P + \frac{mv^2}{R}$. Сила $\frac{mv^2}{R}$, приложенная к мосту, т. е. к связям, и есть центробежная сила.

В неинерциальной системе отсчета на тело, движущееся по вогнутому мосту, действует сила тяжести P и центробежная сила инерции F, обе направленные вниз (рис. 10а). Сила давления на мост (рис. 10б) равна $Q=P+F$.

5. Конический маятник.

В инерциальной системе отсчета центростремительную силу F_1 мы рассматриваем как равнодействующую двух сил: си-

Рис. 9.

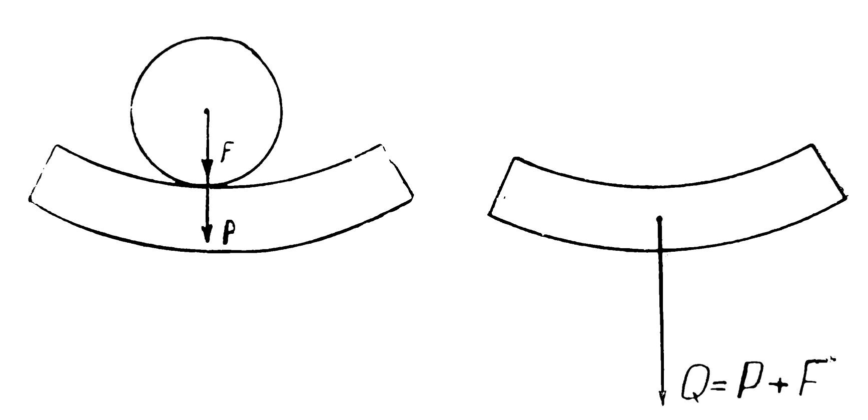


Рис. 10.

лы тяжести P и натяжения нити Q. Последняя равна $\frac{P}{\cos}$.
Составляющая веса на направление нити — Q_1 уравновешивается натяжением нити (рис. 11а).

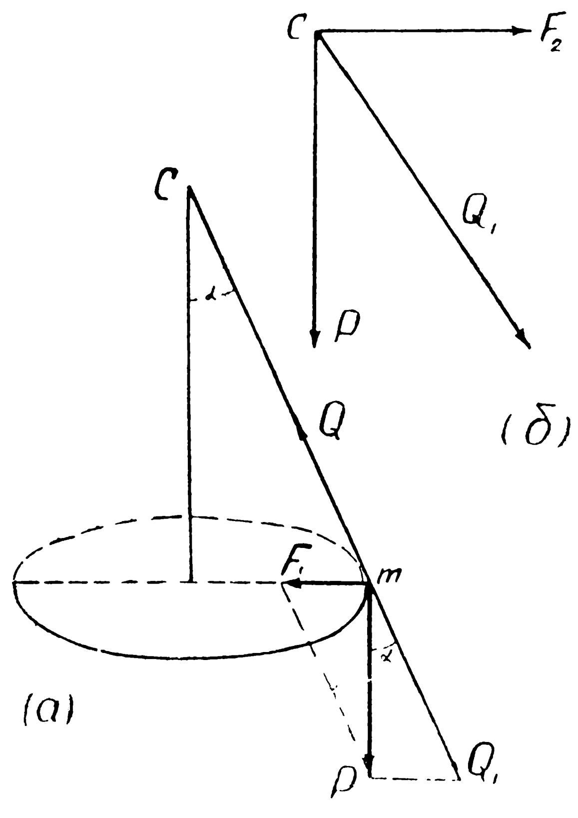


Рис. 11.

Чтобы показать центробежную силу, действующую, как всегда, на опору, на связь, перенесем точку приложения силы Q_1, в точку C и разложим ее на составляющие P и F_2. Сила F_2 и будет центробежной силой, действующей на опору; она направлена антипараллельно по отношению к силе F_1.

Относительно неинерциальной системы отсчета, движущейся вместе с телом m, на него действуют силы: P, Q и центробежная сила инерции F (рис. 12). Равнодействующая их раз-

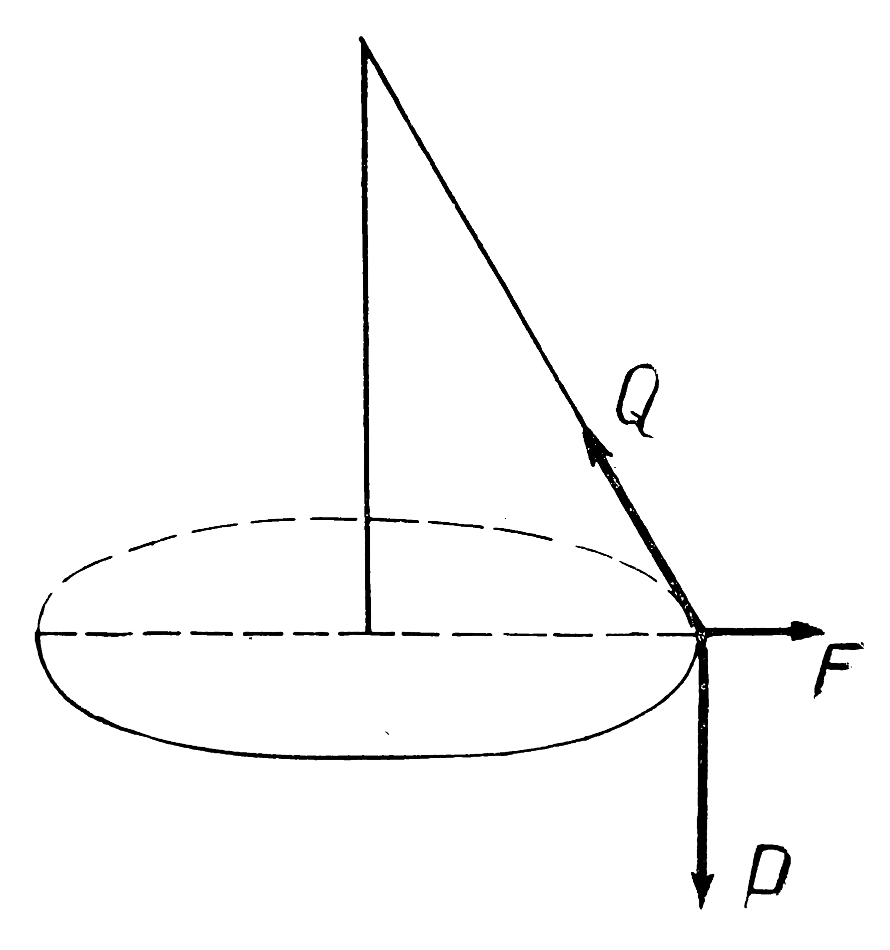


Рис. 12.

на нулю. Аналогично решается задача с центробежным регулятором.

6. Плоский маятник.

В инерциальной системе отсчета в нижней точке траектории центростремительную систему F_1 (рис. 13) мы будем рассматривать как равнодействующую силы натяжения нити Q, направленную вверх и приложенную к движущемуся телу, и веса тела P. В заданном поле тяготения земли центростреми-

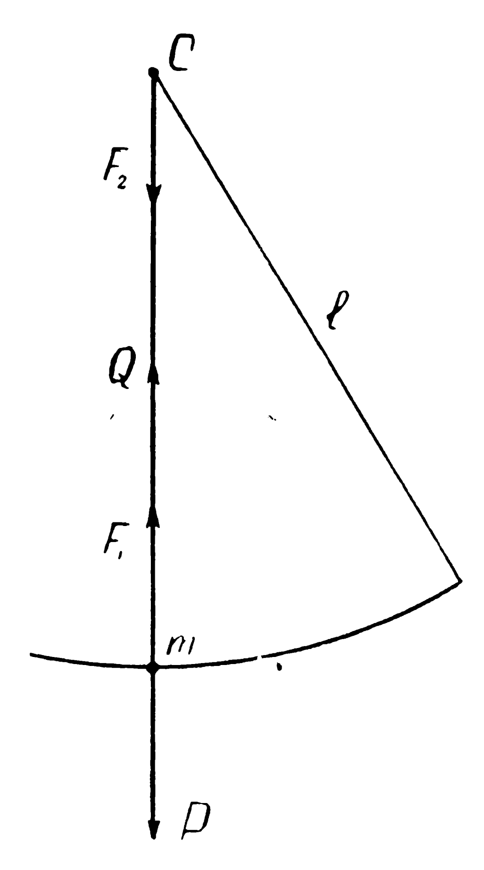


Рис. 13.

тельная сила создается за счет натяжения нити. В свою очередь к нити приложена центробежная сила F_2, направленная вниз. Натяжение нити

$$Q = P + \frac{mv^2}{R} \left(R = l \right).$$

В неинерциальной системе отсчета к шарику маятника приложены силы — вес и центробежная сила инерции, обе направленные вниз. Результирующая этих двух сил и определяет натяжение нити Q.

7. Движение шарика по желобу («Мертвая петля»).

По отношению к неподвижной системе отсчета действующую на тело в точке а (рис. 14) центростремительную силу F следует истолковывать тоже как силу, возникающую за счет веса тела P. Когда F меньше P в верхней точке a, тело падает под действием силы P—F. При равенстве сил P и F тело пролетает точку а, не падая вниз. Здесь вес полностью использован на создание центростремительной силы. В случае, когда F больше P, тело тоже проходит точку а. Избыток F над P здесь вызван за счет избытка потенциальной энергии тела над уровнем a. Сила давления тела на желоб в точке а равна F—P.

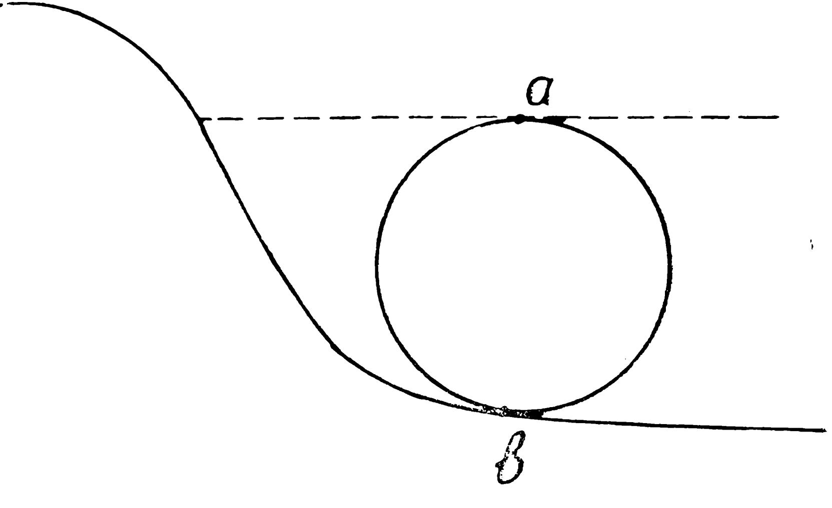


Рис. 14.

В нижней точке b на желоб действуют силы — вес и центробежная сила. Общая сила давления на желоб в точке b равна $P + \frac{mv^2}{R}$.

В движущейся системе отсчета сила давления на желоб определяется разностью центробежной силы инерции и веса в точке а и суммою их в точке b.

Н. И. ВЫГАНОВСКИЙ

ОПЫТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И МЕТОДИКА ТЕМЫ «ФОТОЭФФЕКТ» В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

Настоящая работа имеет своей целью оказание помощи преподавателю физики в проведении уроков, посвященных фотоэффекту. Особое внимание уделено разработке и постановке демонстрационных опытов. Большинство разбираемых демонстраций прошло неоднократное испытание и в настоящее время используется в практике преподавания некоторых школ и вузов.

В изложении соблюдается историческая последовательность в открытии явлений фотоэффекта и установлении качественных и количественных закономерностей.

В школьной практике преподавания демонстрационная сторона фотоэффекта в лучшем случае ограничивается опытом по выбиванию избыточных электронов из цинковой пластинки, после чего следует сообщение целого ряда выводов и закономерностей, которые непосредственно не наблюдаются.

В настоящей работе изложение данной темы строится на убедительных опытах с тем, чтобы выводы о закономерностях в явлениях фотоэффекта вытекали как естественное и логическое следствие из наблюдаемых фактов. При этом постановка демонстраций не выходит за пределы возможностей кабинета физики средней школы.

Большое количество предлагаемых демонстраций позволяет преподавателю делать выбор в соответствии с возможностями кабинета физики того, что он может использовать на уроках и что можно вынести на работу физико-технических кружков, в программу работы которых рекомендуется включать изготовление и конструирование учащимися необходимых дополнительных приборов.

I. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Цель занятия — ознакомить учащихся с проявлением нового качества света. На опытах показать явление фотоэффекта для различных тел, установить качественную зависимость фотоэффекта от длины волны облучающего света, от вещества и от состояния его поверхности.

§ 1. ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД. ЯВЛЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

В 1887 году Г. Герц случайно обнаружил, что в разряднике, находящемся под электрическим напряжением, всякий раз усиливается разряд, если разрядник освещается ультрафиолетовыми лучами от посторонней электрической искры или электрической дуги. Это явление связано с освобождением электронов с отрицательно заряженного электрода разрядника под действием ультрафиолетовых лучей.

В школе опыты Герца по фотоэффекту не демонстрируются. Между тем осуществление их оказывается вполне доступным.

Для осуществления демонстрации необходимо иметь источник света, богатый ультрафиолетовыми лучами. Основным источником, которым располагают школы, является угольная электрическая дуга, ультрафиолетовое излучение которой не вполне достаточно для убедительной демонстрации действия света на электрический разряд. Это привело к необходимости изменить спектральный состав угольной дуги за счет увеличения ультрафиолетовой части, что было достигнуто заправкой одного (можно обоих) угля дуги алюминием. В нашей установке один из наконечников разрядника имеет форму диска, изготовление которого не вызовет затруднений даже у неискушенного в физическом эксперименте (см. рис. 3). Все остальные приборы, необходимые для сборки демонстрационной установки, являются обычными для кабинета физики средней школы.

Для демонстрации этого явления необходимо иметь следующие приборы и установки: 1. Электрическая дуга. 2. Катушка Румкорфа (школьного типа). 3. Лейденские банки (2—4 шт.). 4. Аккумулятор или другой источник тока. 5. Рубильник. 6. Соединительные провода. 7. Электрический разрядник. 8. Лист стекла приблизительно 15×20 кв. см.

На рис. 1 приводится принципиальная схема опыта. На схеме цифрами обозначено:

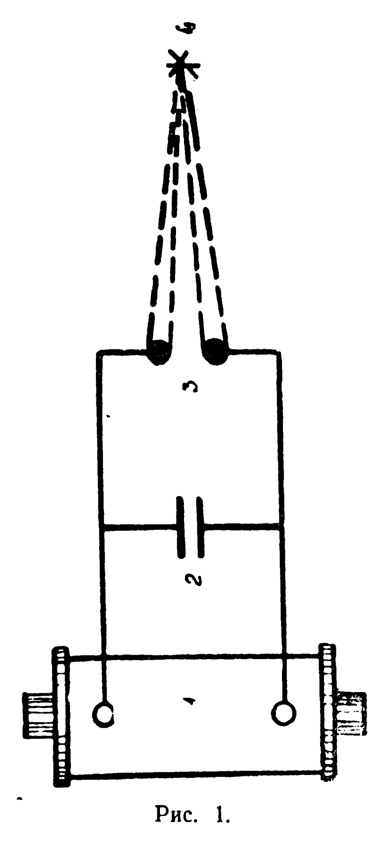


Рис. 1.

1. Катушка Румкорфа. 2. Конденсатор. 3. Разрядник. 4. Электрическая дуга.

Катушка Румкорфа питается от 6-вольтовой батареи при силе тока 3—4 ампера. Конденсатор (2—4 лейденские банки, соединенные параллельно) способствует наиболее устойчивому разряду: искра получается более интенсивной. Цинковый наконечник разрядника перед началом опыта тщательно очищается наждачной бумагой или скоблением ножом (амальгамировать не нужно).

На рис. 2 приводится фотография одного из вариантов расположения приборов.

Приведем некоторые данные, характеризующие установку: диаметр латунного шарика разрядника — 3 см, второй наконечник разрядника представляет собой цинковый диск диаметром 6 см и толщиной 1 см; расстояние между разрядником и дугой 15—20 см; до освещения происходит 8—10 разрядов в минуту; при освещении возникает непрерывный разряд.

Разряд должен происходить с цинкового наконечника на латунный. Не следует оба наконечника разрядника делать цинковыми, так как наконечник, на который происходит разряд, быстро окисляется, покрывается черной коркой нагара, которая является плохим проводником, и искровой разряд делается неустойчивым.

Цинковый диск разрядника отливается из цинкового лома. Можно использовать старые пластины от гальванических элементов. Формой для отливки служит жестяная баночка из-под сапожного крема. Диск может быть изготовлен и из

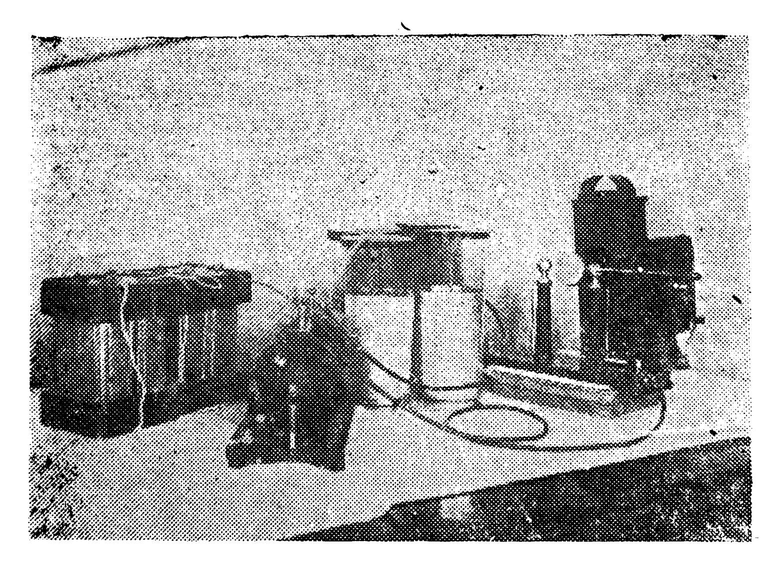


Рис. 2.

других материалов, например алюминия, меди или латуни.

Если имеется необходимый металл в виде листа 4—10 мм толщиной, то диск можно обработать ножевкой и пилой по металлу.

После изготовления диск тщательно зачищается напильником до блеска. В ребре диска просверливается отверстие, в которое вставляется металлический стержень, служащий для укрепления в стойке разрядника. Острым краям диска с помощью напильника придается округлая форма, что предотвращает стекание заряда (коронный разряд) при высоком напряжении.

Плоская форма цинкового наконечника оказалась наиболее удобной в смысле воздействия на него почти перпендикулярно падающих ультрафиолетовых лучей, а изготовление его крайне просто. На фотографии (рис. 3) разрядник представлен отдельно от общей схемы установки.

Для успешной демонстрации фотоэффекта в этом и во всех последующих случаях и на различных телах необходимо ультрафиолетовую часть спектра электрической дуги сделать более интенсивной, чем она бывает у обычной электрической дуги. Для этого следует в нижнем угле дуги сделать углубление и вставить в него алюминиевый стерженек. Углубление в

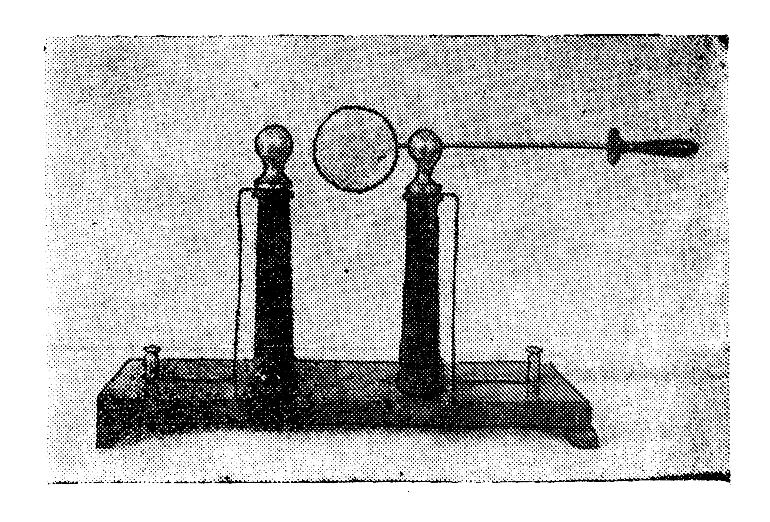


Рис. 3.

угле свободно высверливается от руки 3—4 мм сверлом по металлу.

При горении дуги раскаленные пары алюминия дают интенсивный ультрафиолетовый спектр, и что особенно важно удлиняют его в коротковолновую сторону*. На рис. 4 схематично представлен уголь, заправленный алюминиевым стерженьком (размеры даны в миллиметрах).

В процессе работы дуги уголь вокруг алюминия обгорает и зажигание дуги затрудняется. В этом случае замыкают угли дуги с помощью третьего угля от руки.

Наиболее активный световой поток получается при разведении углей на расстоянии от 5 до 8 мм.

Порядок демонстрации

1. Отрегулировать разрядник так, чтобы в нем происходило 8—10 разрядов в минуту.

2. Поместить между электрической дугой и разрядником лист картона, включить электрическую дугу (объектив и конденсатор фонаря при демонстрации фотоэффекта должны

---

* При работе с дугой, заправленной алюминием, следует предохраняться от сильного ультрафиолетового излучения.

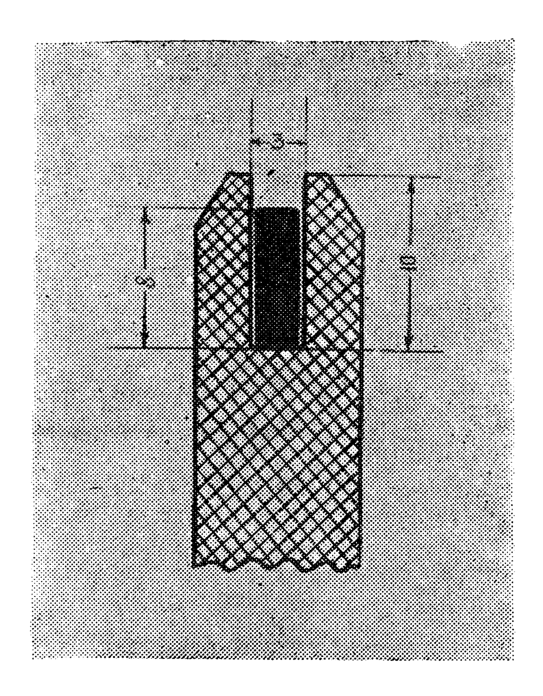


Рис. 4.

быть удалены, что обеспечивает свободный выход ультрафиолетовым лучам).

3. Удаляем картон — мгновенно начинается непрерывный разряд, что аудитория воспринимает по характерному треску разрядника. Опыт повторить 2—3 раза.

4. Выключить электрическую дугу и сделать вывод о причине сильного увеличения разряда.

5. Поместить между электрической дугой и разрядником стекло, включить электрическую дугу (хорошо работающая дуга дает мощный поток ультрафиолетовых лучей, длинноволновая часть которых все же проникает через тонкое стекло. Хорошо отрегулированный разрядник может дать увеличение разряда примерно в два раза). Обратить внимание на то, что свет, проходящий через стекло, на разрядник оказывает малое влияние.

6. Удаляем стекло — мгновенно возникает непрерывный разряд (для ослабления звука от треска катушки Румкорфа ее

можно поместить в какую-либо коробку с звукоизолирующим материалом: ватой, войлоком и т. п.).

7. Вновь на пути лучей ставим стекло. Разряд мгновенно прекращается. Эксперимент повторяем 2—3 раза.

Ставим вопросы:

а) все ли лучи от электрической дуги проходят через стекло?

б) какие лучи являются причиной электрического разряда? (сведения об ультрафиолетовых лучах и свойствах стекла задерживать их у учащихся уже имеются).

На основании наблюдений следует естественный вывод: причиной, облегчающей электрический разряд, являются ультрафиолетовые лучи.

Формулируем: явление освобождения электрических зарядов под действием света получило название фотоэлектрического эффекта или фотоэффекта.

Обращаем внимание учащихся на таблицу электромагнитных волн, если таковой не окажется, то часть ее следует выписать на доску:

Название областей „шкалы" волн	Длина волн в микронах
Видимые световые волны	0,76 — 0,38
Ультрафиолетовые волны	0,38 — 5.10^{-3}

В заключение указываем на то, что именно лучи с более короткими волнами интенсивнее вызывают явление фотоэффекта, т. е. они являются более активными.

§ 2. ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОЭФФЕКТА ОТ ВЕЩЕСТВА

Для экспериментального обоснования того, что под действием света (ультрафиолетовых лучей) из вещества выбиваются именно отрицательные заряды — электроны, обычно, во всех курсах физики, методической литературе и технике физического эксперимента, рекомендуется пользоваться цинковой пластинкой, тщательно очищенной и амальгамированной ртутью.

Нельзя не признать некоторую ограниченность такой демонстрации, а с физической точки зрения и искусственность,

так, как после этой демонстрации следует обобщение, в котором утверждается, что вообще все тела под действием света теряют электроны. Но как раз на «всех телах» это явление и не показывается.

Было бы естественнее на различных телах показать явление фотоэффекта и без всяких натираний ртутью. Тогда вывод об общности этого явления был бы очевидным и естественным.

Такая задача нами и была разрешена. Для демонстрации понадобятся следующие приборы и материалы: электрическая дуга; электроскоп; набор круглых пластин одинакового диаметра примерно 15 см (цинковые, медные, латунные, оцинкованного железа, железные, алюминиевые, деревянные и др.). Для их изготовления можно использовать старые ведра. кастрюли и прочий подручный материал; стекло 15×20 кв. см в качестве фильтра; палочки эбонитовая и стеклянная, кусок меха и кожи для натирания (в случае отсутствия эбонитовой палочки ее с успехом можно заменить пластмассовыми; линейкой, расческой, письменной ручкой, ручкой от зубной щетки и т. д.).

К каждой пластинке припаивается или приклепывается трубка, с помощью которой она будет удерживаться на стержне электроскопа. Для металлических пластин проще при вырезывании круглой формы специально ставить небольшой четырехугольный выступ, из которого можно свернуть трубку.

Все пластинки (круги) лишь с одной стороны очищаются наждачной бумагой до зеркального блеска (значительное увеличение фотоэффекта дает оскабливание пластин острым ножом перед началом демонстраций), тогда как другая сторона остается неочищенной (причина такой обработки пластин будет понятна в дальнейшем). Острые края пластин запиливают напильником до округлой формы и зашлифовывают мелкой шкуркой, что уменьшает стекание электрических зарядов.

На деревянный диск с одной стороны следует нанести тонкий слой графита (натереть простым карандашом).

Расположение приборов во время демонстрации понятно из рис. 5. Практически следует брать такое расстояние между пластинкой и фонарем, при котором была бы возможность следить за показанием электроскопа, т. е. разряд не должен быть слишком быстрым. Нами использовались расстояния в пределах от 100 до 150 см.

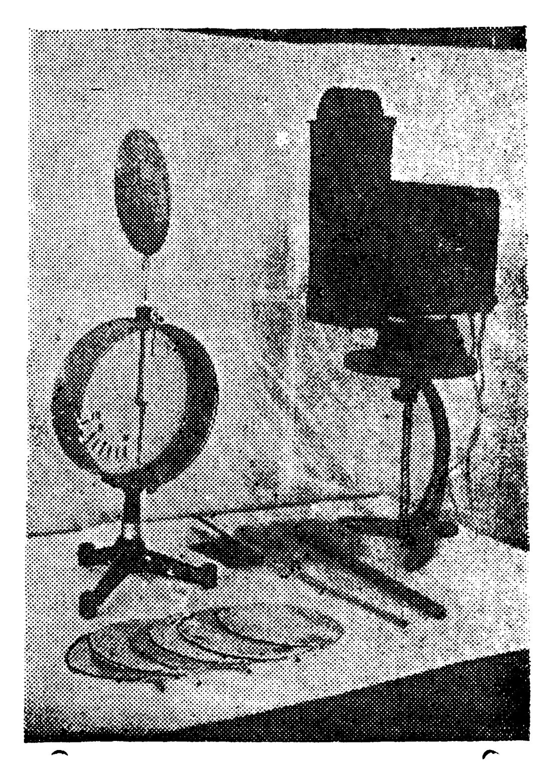


Рис. 5.

Порядок демонстрации

1. Поместить один из дисков на электроскоп, например, медный, и зарядить его положительным электричеством (от стеклянной палочки, потертой о кожу), включить электрическую дугу. Разряд не наблюдается. (В этом и нижеследующих случаях все диски должны быть блестящей стороной обращены к фонарю).

2. Выключить электрическую дугу и указать на то, что хотя от дуги на пластинку падали как видимые, так и ультрафиолетовые лучи, но на положительный заряд они не оказали действия: медная пластинка не разрядилась, о чем судим по показанию электроскопа.

3. Зарядить медную пластинку отрицательным электриче-

ством (от эбонитовой палочки, потертой о мех), поместить стекло между фонарем и медной пластинкой, включить дугу. Разряд не наблюдается. Указать на то, что видимые лучи, прошедшие через стекло, влияния на заряд не оказывают.

Убрать стекло и наблюдать (по показанию электроскопа) разряд медной пластинки.

4. Вновь зарядить медную пластинку отрицательным электричеством. Ставя на пути лучей стекло или убирая его по нашему желанию, можем прекращать или возобновлять разряд медной пластинки (опыт повторить 2—3 раза).

Из наблюдений следует вывод: под действием ультрафиолетовых лучей из медной пластинки выбиваются отрицательные заряды-электроны.

Сообщаем, что медную пластинку мы взяли совершенно произвольно. Любая другая металлическая или даже деревянная пластинка под действием ультрафиолетовых лучей также будет испускать электроны. Следующим для демонстрации лучше взять деревянный диск, одна сторона которого натерта графитом, а другая чистая. Некоторая разница в быстроте протекания фотоэффекта с металлической, графитовой и особенно деревянной поверхностей позволит сделать вывод о различной способности тел удерживать электроны.

Выбивание избыточных электронов из графита идет так же убедительно, как и из металлов. Для деревянного диска, обращенного чистой поверхностью к фонарю, расстояние до фонаря следует сократить в 2—3 раза. В этом случае выбивание электронов идет медленнее, но вполне заметно. При этом стрелка электроскопа перемещается отдельными рывками, что, по-видимому, связано с медленным выравниванием потенциала, благодаря плохой проводимости дерева.

В ходе демонстрации необходимо обратить внимание на очень важное обстоятельство — различные тела разряжаются с несколько различной скоростью. Указав на то, что размеры пластин и величина светового потока, падающего на них, являются одинаковыми, делаем вывод: различные тела обладают различной способностью терять (испускать) электроны. Следовательно, в различных телах электроны удерживаются с различной силой.

Разумеется, что нельзя делать вывод о количественной стороне явления, т. к. о чистоте состава применяемых тел можно говорить лишь относительно, и наши наблюдения за быстротой разряда также являются лишь качественными.

Закончив демонстрации фотоэлектрических явлений на пластинах-дисках из различных материалов, необходимо сооб-

щить, что форма в виде круглых пластин взята лишь для удобства и что явлению фотоэффекта подвержены все тела независимо от их формы.

Для подтверждения этой закономерности на опыте следует на стержень электроскопа надеть металлическую подставку, на которую можно помещать любые подручные предметы: металлическую кружку, латунный калориметрический стакан, железную консервную банку и т. д. Явление наблюдается с той же убедительностью.

В заключение следует естественный вывод: все тела под действием света и особенно под действием его коротковолновой ультрафиолетовой части в той или иной степени теряют (испускают) электроны-фотоэлектроны.

Употребление электрической дуги, заправленной алюминием, дает сильное увеличение фотоэлектрических явлений. Так, например, хорошо очищенный медный диск, заряженный отрицательным электричеством, на расстоянии 3-х метров от электрической дуги быстро разряжался и очень чутко реагировал на перекрытие светового потока пластинкой стекла.

§ 3. ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОЭФФЕКТА ОТ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВЕЩЕСТВА

Известно, что состояние поверхности тела в сильной степени влияет на фотоэффект как в сторону уменьшения его, так и в сторону увеличения. Так, например, окислившаяся поверхность металлов, как правило, дает уменьшенный фотоэффект. Это явление убедительно демонстрируется на тех же пластинках-дисках, латунных стаканах, алюминиевых кружках и т. д.

Порядок демонстрации

1. Поместить один из дисков на электроскоп (расстояние от дуги 1—1,5 м) и зарядить его отрицательным электричеством (в этом и нижеследующих случаях все диски в начале следует ставить неочищенной стороной к фонарю), включить дугу. Разряда или не наблюдается, или он проходит крайне медленно.

2. Не прикасаясь рукой к диску, чтобы не разрядить его, нейтральной стеклянной палочкой поворачиваем диск на 180°, т. е. блестящей стороной к фонарю. Мгновенно начинается разряд. Диск можно поворачивать 2—3 раза, всякий раз наблюдая возникновение и прекращение разряда.

3. Заменив диск подставкой, помещаем на нее последова-

тельно различные металлические стаканы, банки, кружки, соблюдая последовательность, указанную в 1-м и 2-м пунктах, демонстрируем зависимость фотоэффекта от состояния поверхности вещества.

4. Сделав вывод о том, что окисление поверхности уменьшает явление фотоэффекта, следует отметить, что амальгамирование поверхности металла ртутью увеличивает фотоэффект.

5. Поставить на электроскоп цинковый диск, с одной стороны амальгамированный, а с другой — только вычищенный наждачной бумагой и зарядить его отрицательным электричеством. Поворачивание различными сторонами диска к фонарю дает хорошо заметную разницу в освобождении от отрицательного заряда.

Диск амальгамируется перед самым началом урока. Можно амальгамировать и на самом уроке, для чего необходимо иметь заранее вычищенный цинковый диск, пузырьки со ртутью, с раствором серной кислоты и пипетку. Капнуть 8—10 капель ртути на диск и налить 15—20 капель раствора серной кислоты. Быстро растереть их скомканным куском бумаги и, наконец, чистым куском бумаги протереть досуха. Диск принимает зеркальную поверхность (весь процесс такого упрощенного амальгамирования занимает 3—5 минут). Для собирания ртути, сошедшей с диска во время натирания, следует под диск подстилать плотную бумагу или подставить противень, плоскую кювету и т. п.

После таких демонстраций следует естественный вывод: фотоэффект в сильной степени зависит от состояния поверхности вещества. Загрязнение, окисление поверхности вещества уменьшает фотоэффект. Очистка поверхности, амальгамирование металлов ртутью увеличивает фотоэффект.

В заключение следует отметить, что фотоэлектрическому эффекту в той или иной степени подвержены все тела. Наиболее активными в фотоэлектрическом отношении являются металлы, особенно цинк, алюминий, красная медь. Во всех случаях под действием света из вещества выбиваются только отрицательные заряды-электроны, тогда как положительные заряды всегда прочно связаны с веществом и действием света не освобождаются. Независимо от того возникает вопрос или нет, следует сообщить, что мы наблюдали фотоэффект на избыточных электронах, потому что он является наиболее наглядным.

Но под действием света, особенно его ультрафиолетовой части, и все нейтральные тела теряют электроны, вследствие

чего приобретают положительный заряд. В последнем случае обнаружить фотоэффект труднее, т. к. при незначительной потере электронов тело, становясь положительно заряженным, будет препятствовать выходу электронов и даже выбитые электроны будут возвращаться электрическим полем обратно в вещество. Обнаружить фотоэффект на нейтральных телах можно при помощи лишь очень чувствительных приборов.

Следует также отметить, что мы пользовались источником света — электрической дугой потому, что нам необходимо было получить поток световой энергии, богатый ультрафиолетовыми лучами. Все тела, с которыми мы имели дело, испускали электроны под действием именно ультрафиолетовых лучей. Но есть такие вещества, которые активно испускают электроны под действием видимой части света. К таким веществам, в частности, относятся щелочные металлы: натрий, калий, рубидий, цезий. Так как эти вещества быстро окисляются в воздухе, то мы не могли экспериментировать с ними. С применением щелочных металлов в области фотоэффекта мы познакомимся на следующих занятиях.

Отмечаем, что мы изучили проявление нового качества света — выбивание электронов с поверхности вещества. Суть этого явления заключается в том, что электроны, получая дополнительную энергию от светового потока, преодолевают силы, удерживающие их в веществе, и покидают его.

Само явление по указанным причинам получило название внешнего фотоэффекта.

Формулируем: внешний фотоэффект заключается в вырывании электронов с поверхности вещества за счет световой энергии.

В работу физического кружка можно включить: изготовление разрядника; изготовление дисков (пластин); изготовление подставки; изготовление конденсатора.

В случае отсутствия конденсатора (лейденских банок), он может быть изготовлен из бутылок, заполненных очень слабым раствором кислоты (серной или соляной). В качестве наружных обкладок могут служить консервные или другие подходящие металлические банки или фанерный ящик, выложенный внутри кусками жести, в которой можно поместить несколько бутылок. Для соединения с внутренней обкладкой (раствором) через пробки следует пропустить куски проволоки лучше алюминиевой или узкие полоски алюминия.

Приборы, изготовленные в физическом кружке, могут быть использованы как для организации демонстраций во время

проведения занятий, так и для дополнительных демонстраций и опытов на внеклассных занятиях.

В качестве дополнительных опытов, углубляющих знания учащихся о фотоэффекте, на внеклассную работу можно вынести качественное изучение внешнего фотоэффекта (время 1 час): а) определение знака заряда освобождаемого светом; б) зависимость фотоэффекта от длины волны света; в) зависимость фотоэффекта от вещества; г) зависимость фотоэффекта от состояния поверхности вещества (влияние загрязнения, очистки, полировки, амальгамирования).

Опыты провести на различных телах, которыми не пользовались на классном занятии.

II. ИССЛЕДОВАНИЯ А. Г. СТОЛЕТОВА ПО ФОТОЭФФЕКТУ

Цель занятия — ознакомить учащихся с исследованиями А. Г. Столетова. На опыте продемонстрировать первый фотоэлемент А. Г. Столетова. Качественно проверить первый закон фототока — закон Столетова. Показать зависимость фототока от вещества. Отметить приоритет России в области изобретения фотоэлемента с внешним фотоэффектом.

Необходимо отметить, что до начала работ в области фотоэлектрических явлений нашего соотечественника А. Г. Столетова, эти явления оставались на положении интересных опытов, не находящих себе применения в практике. По мере изложения этой темы и проверки закономерностей на демонстрационных опытах, показываем серьезность постановки вопроса А. Г. Столетовым. Подчеркиваем, что А. Г. Столетов был первым физиком, который по широкой программе ввел количественные исследования и проверку фотоэлектрических явлений. А. Г. Столетову принадлежит первенство в области изобретения фотоэлемента с внешним фотоэффектом. Не останавливаясь подробно, сообщаем, что все современные фотоэлементы с внешним фотоэффектом являются дальнейшим техническим усовершенствованием первого фотоэлемента А. Г. Столетова.

Наконец, необходимо указать на то, что А. Г. Столетов, открыв тонкую чувствительность своего фотоэлемента к малейшему изменению светового потока, сделал практически важный вывод о возможности использования фотоэлемента, как чуткого индикатора, который сможет регистрировать самые незначительные изменения света.

Содержание занятия и постановка демонстрации.

§ 1. ПЕРВЫЙ ФОТОЭЛЕМЕНТ А. Г. СТОЛЕТОВА

Вариант 1-й.

Для демонстрации возникновения фотоэлектрического тока и его зависимости от длины волны света и светового потока можно воспользоваться рекомендуемым в литературе прибором А. Г. Столетова.

На рис. 6 представлен прибор и принципиальная схема его включения.

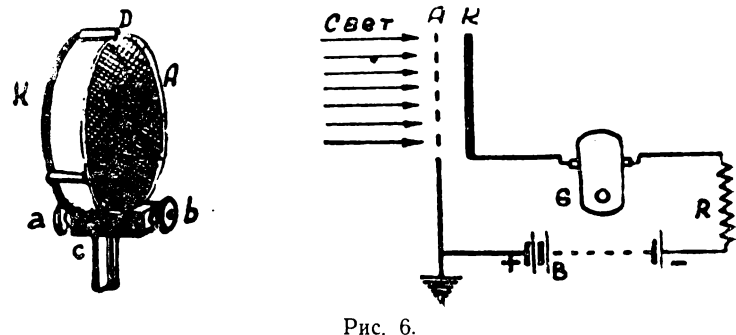


Рис. 6.

К — цинковая пластинка, А — проволочное кольцо, затянутое металлической сеткой, Д — изолирующие прокладки, С — изолирующая прокладка, на которой монтируются цинковая пластинка и сетка, а — клемма для соединения с цинковой пластинкой, b — клемма для соединения с сеткой, с— металлический стержень для крепления прибора в штативе. Размеры цинковой пластинки и сетки примерно 15 см в диаметре. Расстояние между ними 1—2 см. G — зеркальный гальванометр чувствительностью 10^{-8} а, В — батарея или другой источник постоянного тока напряжением до 200 в, R — сопротивление порядка 10000—100000 ом, которое служит в качестве предохранителя в случае замыкания цепи при нечаянном соприкосновении цинковой пластинки и сетки.

Собрав цепь, необходимо убедиться по показанию гальванометра, что электрический ток отсутствует, т. е. изоляция между цинковой пластинкой и сеткой надежна. Расположить прибор в 15—20 см от электрической дуги и включить ее. Под действием светового потока, падающего на цинковую пластину, цепь замыкается, гальванометр отмечает протекание электрического тока. Прерываем световой поток куском стекла — мгновенно прекращается электрический ток. Меняя по·

люса цинковой пластинки и сетки на противоположные, убеждаемся, что электрический ток прекращается.

В школьной практике демонстрация классических опытов А. Г. Столетова затрудняется тем обстоятельством, что не все школы располагают зеркальными гальванометрами чувствительностью 10^{-8} а и больше.

Вариант 2-й

Нами разработан простой прибор, на котором можно демонстрировать фотоэлектрические опыты А. Г. Столетова со стрелочным гальванометром чувствительностью 10^{-} а — 10^{-7} а, который имеется во многих школах.

Для изготовления прибора необходимо иметь следующие материалы:

1. Пластинка органического стекла толщиною 3—4 мм и площадью примерно 15×25 см².

2. Две пластинки из органического стекла площадью примерно 0,6×15 см² и две пластинки — 0,9×15 см² толщиною 1,5—2 мм.

3. 1—2 целлулоидные пластинки (старые негативы) или обрывки киноленты.

4. Медная или алюминиевая проволока диаметром 0,4—0,5 мм длиною 6—8 м.

5. Набор пластинок (цинковая, медная, алюминиевая, латунная, белой жести, железная) толщиною 1,5—2 мм и площадью примерно 15×18 см². (Можно ограничиться двумя пластинами, например, цинковой и железной).

6. Две клеммы.

7. Клей для склеивания органического стекла. (Разумеется, что все указанные размеры материалов могут варьироваться в зависимости от их наличия).

Из пластинки органического стекла выпиливают раму, форма которой видна на рисунке 7. В крайнем случае рамка может быть выпилена из сухого дерева, например, из фанеры.

С обеих сторон рамки на расстоянии 2 мм от внешнего края делают две узкие продольные бороздки на глубину 0,4—0,5 мм, т. е. на толщину проволоки. Вдоль тех же краев рамки пропиливают канавки глубиною 2 мм через каждые 2—3 мм до продольных бороздок.

Затем просверливают отверстие для клеммы. С этой же стороны, где сделаны продольные бороздки, приклеивают по две пластинки из органического стекла: две вверху и две внизу.

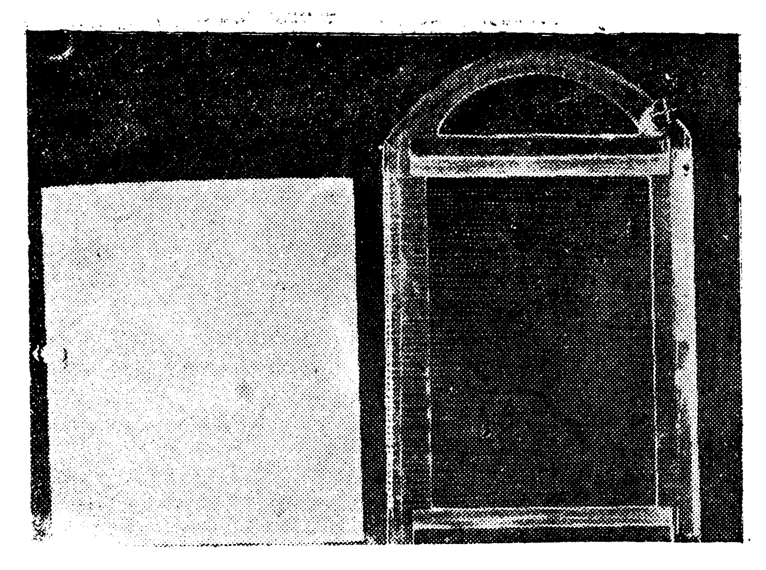


Рис. 7.

Пластинки наклеивают одну на другую, но так, чтобы узкая пластинка была приклеена к рамке. Этим самым образуются пазы между широкой пластинкой и рамкой, в которой будет вставляться металлическая пластинка.

Затем нужно поставить клемму, закрепить под нее один конец проволоки и натягивать ее на рамку. Зацепив проволоку за один зубец рамки, нужно переходить на другую сторону и обратно и т. д. так, чтобы проволока образовала поперечные параллельные линии. Необходимо следить за тем, чтобы при обматывании зубца проволокой последняя укладывалась в бороздку. Параллельные ряды проволоки должны лежать в плоскости, прилегающей к лицевой стороне прибора.

Продольные борозды, в которые уложена проволока, заклеивают узкой полоской целлулоидной пленки (для полной изоляции проволоки от цинковой пластинки).

Цинковую пластинку подгоняют к рамке так, чтобы она свободно входила в пазы. К этой пластинке припаивают клемму.

Внешний вид прибора в разобранном виде (цинковая пластинка вынута из прибора) представлен на рисунке 7.

Проволока, натянутая параллельными рядами, заменяет сетку, этим обеспечивается максимальный доступ светового

потока к цинковой пластинке (проволоку) в дальнейшем будем называть сеткой.

Схема включения прибора в цепь для демонстрации опыта А. Г. Столетова по фотоэлектрическому эффекту показана на рисунке 8. Здесь же дана фотография собранной установки. Для подачи напряжения между сеткой и цинковой пластиной можно использовать либо три батареи БАС-80, соединенные последовательно, либо кенотронный выпрямитель или умформер-преобразователь.

§ 2. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ФОТОЭФФЕКТА — ЗАКОН А. Г. СТОЛЕТОВА

Порядок демонстрации

Все пластинки перед началом урока с одной стороны должны быть тщательно очищены наждачной бумагой или поскоблены острым ножом. В начале демонстрации лучше использовать цинковую пластинку, как дающую больший эффект. (В случае наличия гальванометра малой чувствительности, цинковую пластинку нужно амальгамировать). Чтобы учащиеся могли наблюдать показания гальванометра, следует над ним поместить зеркало под углом 45° к горизонту.

Схему полезно вычертить на доске и обратить внимание на то, что электрическая цепь между цинковой пластинкой и сеткой разорвана.

1. Собрать установку по схеме, указанной на рисунке 8 «а». Дуга должна быть расположена на расстоянии примерно 15 см от прибора.

2. Указываем на то, что цинковая пластинка имеет отрицательный потенциал, а сетка — положительный. Включив дугу, наблюдаем показание гальванометра. Можно поставить вопрос: почему возник электрический ток в цепи, когда мы осветили цинковую пластинку?

Поясняем, что цепь замкнулась потоком электронов, выбитых из цинковой пластинки и переносимых электрическим полем на сетку.

3. Перекрываем световой поток листом стекла, мгновенно прекращается электрический ток. Опыт проделываем 2—3 раза, всякий раз указывая на возникновение и прекращение электрического тока. Ставим вопрос: почему при перекрытии светового потока стеклом электрический ток в цепи прекращается?

4. Медленно перекрывая световой поток стеклом, наблю-

Сетчатый
анод
Ультрафиолэтовый свет

Сплошной метал-
лический катод

G

+ ... −

Рис. 8.

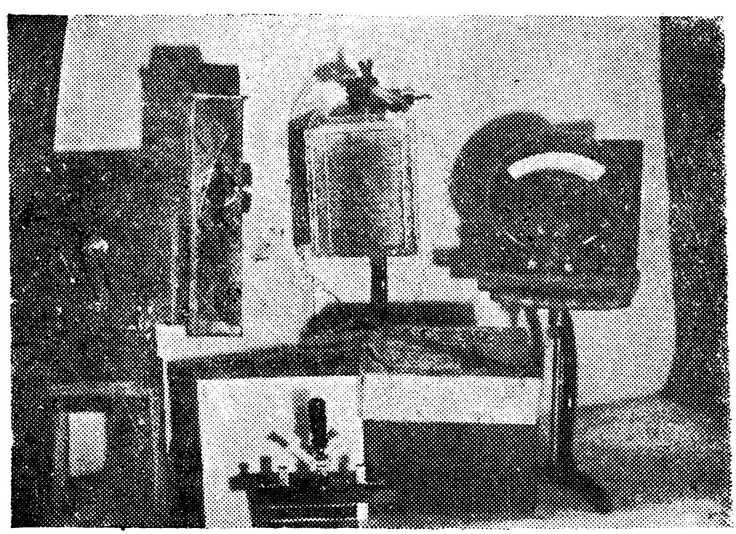


Рис. 8а.

даем постепенное убывание электрического тока, наоборот, — медленно убирая стекло, наблюдаем увеличение электрического тока. Одному из учащихся можно поручить наблюдение за показаниями гальванометра и заставить его громко сообщать данные.

Обращаем внимание учащихся на большую чувствительность фотоэлемента к изменению светового потока. Эту особенность, как мы уже говорили, впервые установил А. Г. Столетов и указал на практическую возможность его использования.

«Едва ли есть другой способ так зорко следить за постоянством электрического света (или, вернее, — за напряженностью известной категории радиации), как эти актино-электрические наблюдения». (А. Г. Столетов, том I, изд. 1939 г., стр. 231).

Обращаем внимание на то, что величина фотоэлектрического тока зависит от величины светового потока, падающего на цинковую пластинку.

При демонстрации опыта указываем на то, что подобные опыты были впервые произведены выдающимся русским физиком А. Г. Столетовым, что он установил первый закон фотоэлектрического эффекта, носящий его имя.

Первый закон фотоэффекта — закон А. Г. Столетова — гласит:

Сила фотоэлектрического тока прямо пропорциональна величине светового потока.

Сам А. Г. Столетов, наблюдая зависимость силы фототока от величины падающего светового потока, писал: «Чтобы объяснить себе эту пропорциональность, необходимо допустить, что при равных прочих условиях, действие (сила тока) пропорциональна напряженности освещения или, лучше сказать, количеству активных лучей». (А. Г. Столетов, том I, изд. 1939 г., стр. 235).

Необходимо кратко рассказать учащимся, что прибор А. Г. Столетова, на котором он исследовал явление фотоэффекта, является одновременно первым фотоэлементом с внешним нормальным фотоэффектом.

5. Выключив рубильник, меняем знаки потенциалов сетки и пластинки. Замыкаем рубильник и включаем дугу. Обращаем внимание учащихся на то, что стрелка гальванометра остается на нуле шкалы. Поясняем, что вырванные из цинковой пластинки действием света электроны силами электрического поля опять возвращаются на пластинку, т. е. цепь остается разомкнутой.

6. Выключаем рубильник (дуга гасится), снова меняем знаки потенциала сетки и пластинки, включаем дугу и рубильник. Показание гальванометра укажет на то, что электрическая цепь замкнута.

В другом варианте демонстрации, подтверждающей закон Столетова, изменение светового потока, падающего на фотоэлемент, достигается изменением расстояния между электрической дугой и фотоэлементом. Начиная с расстояния в 10 см последовательно увеличиваем расстояние на 10 см (эти расстояния заранее отмечаются мелом на столе), всякий раз фиксируя величину фототока. В таблице 1 приводятся данные одного из наблюдений по указанному способу (цинковая пластинка амальгамирована). Протокольные данные измерений фототока проводились со стрелочным гальванометром марки «ФИ» чувствительностью $0{,}1 \cdot 10^{-6}$ а, внутренним сопротивлением 2564 ома. Электрическая дуга работала при напряжении 40—50 в и токе 8—10 а.

Таблица № 1

Напряжение между электродами (в)	Расстояние между дугой и фотоэлементом (см)	Фототок в делениях шкалы гальванометра
240	10	шкалы не хватило
»	20	40—50
»	30	20—30
»	40	15—20
»	50	10—15
»	60	6—10
»	70	4—8
»	80	2—5
»	90	0—2
»	100	0—1

Этот способ несколько сложнее, так как требует перемещения фонаря или фотоэлемента, что заставляет иметь легкий переносный фонарь или при сборке установки фотоэлемент должен соединяться довольно длинными проводами. Но этот способ имеет и свои преимущества, т. к. зафиксированные расстояния и величины фототока дают возможность всегда

(даже после демонстрации) проверить зависимость фототока от расстояния, а следовательно, и от величины светового потока.

Следует отметить, что благодаря неравномерности горения электрической дуги, иногда отдельные показания гальванометра даже при неизменном расстоянии сильно меняются (иногда в 2—3 раза). Поэтому отсчеты следует вести при относительно спокойном горении дуги.

В целях экономии времени для демонстрации следует привлечь двух учеников. Одному из учеников поручается следить за показаниями гальванометра и громко сообщать их, другому записывать эти показания на доске в заранее вычерченную таблицу, то же делают все учащиеся в своих тетрадях.

В случае отсутствия времени, наблюдение по этому варианту можно вынести на лабораторную работу или на работу физического кружка.

В таблице № 2 приводятся данные наблюдений для того же фотоэлемента, но с ленинградским зеркальным гальванометром типа «ФИ». Его данные: чувствительность $=270\,\frac{\text{мм}}{\text{мка}}$ внутреннее сопротивление 160 ом, $R_{кр}$ = 420 ом, T = 7 сек.

Таблица № 2

В	см	Цинковый катод, медный катод	
		фототок в делениях шкалы гальванометра (мм)	
60	100	50	40
„	80	90	60
„	60	120	70
„	40	165	120
„	30	230	190

В целях экономии времени наблюдения велись по первому максимальному отбросу, не ожидая, когда «зайчик» на шкале займет некоторое среднее положение. Так как трудно добиться равномерного горения дуги, то среднее положение «зайчика» оказывается весьма неопределенным.

После качественной проверки первого закона А. Г. Столетова следует перейти к демонстрации фотоэффекта на пластинках из различных веществ. Как и в предыдущей демонстрации, один ученик будет следить за показаниями гальванометра и громко сообщать их, другой будет записывать показания на доске в заранее вычерченную таблицу, то же делают все учащиеся в своих тетрадях.

Преподаватель сам меняет пластины в приборе, включает и выключает электрическую дугу. Всякий раз перед сменой пластины рубильник электрической цепи должен выключаться в целях избежания порчи гальванометра, при нечаянном коротком замыкании пластинки с сеткой.

При демонстрации зависимости фотоэффекта от вещества, в целях экономии времени, можно ограничиться только двумя пластинами, дающими резкую разницу в показаниях гальванометра, например, цинковой и белой жести.

На рис. 9 представлено расположение приборов с использованием стрелочного гальванометра и зеркала.

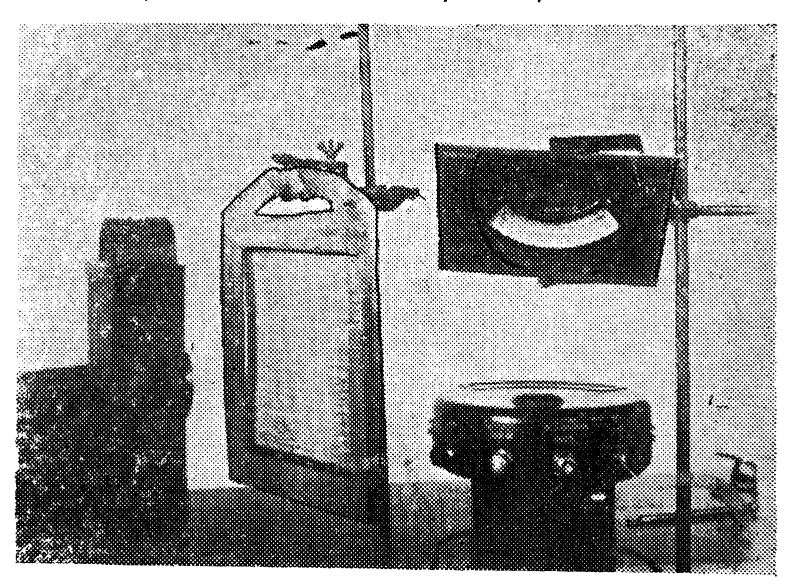


Рис. 9.

Ниже приводится таблица 3 наблюдений с прибором, изготовленным студентами физического кружка УГПИ. (Рамка выпилена из фанеры, внутренние размеры рамки 20×15 см²).

Таблица № 3.

Катод (пластинка)	Расстояние между пластинкой и дугой (см)	Напряжение между сеткой и пластинкой (в)	Сила электр. тока в делениях шкалы гальванометра
Цинк (с оскоблен. ножом)	10	240	60—70
Цинк (амальгамированный	20*	240	50—55
Алюминий	10	240	40—45
Красная медь	10	240	25—30
Латунь	10	240	20—25
Жесть белая	10	240	10—15

Закончив демонстрацию, обращаем внимание на результаты наших опытов. Анализ данных таблицы приводит к выводу, что под действием одинаковой энергии светового потока и при всех прочих равных условиях (расстояние, напряжение) из различных тел выбивается различное количество электронов.

Об этом мы судим по величине фототока, который определяется количеством выбитых электронов.

Особое внимание обращаем на логический вывод, который напрашивается из наших опытов: в различных телах электроны удерживаются с различной силой.

К такому выводу мы пришли и на предыдущих занятиях, наблюдая (по показанию электроскопа) за быстротой разряда различных заряженных тел.

Практические советы

В случае отсутствия достаточных размеров листа органического стекла, рамка может быть склеена (или соединена винтами) из отдельных кусков. В случае отсутствия изоляционного материала рамка может быть изготовлена из сухого дерева, но в этом случае та сторона, к которой прилегает цинковая пластинка, должна быть оклеена целлулоидной пленкой для более надежной изоляции пластинки от сетки. Планочки для образования пазов следует приклеивать после того, как наклеена целлулоидная пленка, т. е. сверху ее.

* Шкалы не хватило, пришлось увеличить расстояние.

Наконец, сетка может быть натянута и на металлическую рамку, и затем прикреплена к изоляционной рамке. (Наиболее прочная конструкция).

Внешний вид прибора и его размеры могут варьироваться в зависимости от наличия материалов. Однако необходимо сохранять расстояние между сеткой и пластинкой в пределах от 3 до 5 мм. Такое расстояние дает хорошую концентрацию электрического поля, чем обеспечивается надежность и убедительность фотоэффекта.

Целлулоидная пленка может быть использована от старых негативов. Для удаления эмульсии с негатива проще использовать следующий способ: опустить пластинки или пленку на 15—20 минут в теплую воду, затем набухший желатин свободно счищается щеткой, например платяной.

Для выпиливания зубцов в органическом стекле можно пользоваться лобзиковой пилкой или гораздо проще и лучше — свить три тонких стальных струны и вставить их в ножевку (вместо полотна). Пропиливание таким трехжильным тросиком дает ровные, узкие щели, а сам процесс пропиливания идет спокойно без дрожания, которое обычно бывает при работе с пилкой.

Клеем для органического стекла может служить 3-% раствор целлулоидной пленки в растворителе лака для ногтей (примерно 3 г мелко нарезанной пленки на 100 см^3 растворителя).

Для изготовления катодов могут быть использованы пластины из элемента Лекланше, старые цинковые ведра, куски оцинкованного железа, листовая медь или латунь и т. п.

В целях предотвращения быстрого окисления проволочной сетки амальгамированную цинковую пластинку следует хранить отдельно от прибора и вставлять ее в прибор только во время демонстрации опыта.

По прошествии даже нескольких дней после амальгамирования, если возникает необходимость повторных демонстраций, цинковая пластинка должна быть вновь тщательно очищена (лучше поскоблить острым ножом).

На работу физического кружка можно вынести:

1. Изготовление фотоэлемента Столетовым (см. стр. 104).

2. Сборку демонстрационной установки: фотоэлемент Столетова со стрелочным демонстрационным гальванометром типа «ФИ» (см. стр. 106, 115).

В качестве дополнительных опытов, углубляющих знания учащихся о законе фототока и о различных свойствах тел по

отношению к фотоэффекту, на внеклассную работу рекомендуется вынести:

1. Проверку первого закона фототока — закона Столетова. Изменение светового потока достигается изменением расстояния между фотоэлементом и электрической дугой. Результаты наблюдения заносятся в таблицу 1.

2. Проверка зависимости фототока от вещества катодных пластин. Наблюдения проводятся на наборе различных пластин, а результаты наблюдений заносятся в таблицу 3.

Чтобы лабораторная работа не сводилась к простому повторению демонстраций, данные для лабораторной работы следует дать несколько иные. Так, например, если при демонстрации мы начинали вести наблюдения за величиной фототока с расстояния в 10 см и меняли его всякий раз на 10 см, то для лабораторных работ можно взять первое расстояние в 15 см и менять его на 15 см. При наблюдении фототока в зависимости от вещества расстояние между фотоэлементом и электрической дугой остается постоянным, но его следует взять другим, чем оно было во время демонстрации.

Ввиду ограниченного времени, отводимого программой на изучение фотоэлектрических явлений, на демонстрации следует выносить один какой-нибудь вариант из рекомендованных. В данном случае для демонстраций в классе целесообразнее оставить опыт с перекрытием светового потока листом стекла, как наиболее экономный вариант.

Вариант 3-й

Демонстрационная установка по фотоэффекту, описанная во 2-м варианте, необходима для получения данных о фотоэффекте и построения кривой фототока насыщения.

Для качественного наблюдения фототока при большой аудитории удобнее пользоваться школьным демонстрационным гальванометром. В этом случае необходимо к ранее использованной схеме добавить несложный одноламповый усилитель.

Дополнительно потребуются следующие приборы: демонстрационный гальванометр, радиолампа 2Ж2М, панель к радиолампе, сопротивления на 5—6 М ом и на 8 К ом, батарей для карманного фонаря 2—3 шт., аккумулятор для накала нити радиолампы.

Принципиальная и монтажная схемы демонстрационной установки представлены на рисунке 10.

В этой схеме отрицательное напряжение, подаваемое на

Рис. 10а.

б) Монтажная схема

Рис. 10б.

управляющую сетку радиолампы, подбирается таким, чтобы запереть анодный ток. Для этого используются карманные батарейки. Возможно, что одну из батареек придется раздробить на составные элементы с тем, чтобы подобрать смещение таким, при котором стрелка гальванометра будет оставаться на нуле при полном накале нити. Но как только мы осветим фотоэлемент, электроны, выбиваемые из пластинки, начнут пополняться за счет батареи, создающей напряжение между сеткой и катодом фотоэлемента, т. е. в цепи фотоэлемента возникнет фототок. На сопротивлении R = 5,5 Мом произойдет заметное падение напряжения (от 10 до 30 вольт), электроны с сетки радиолампы начнут утекать, тем самым анодному току будет открыт путь, что гальванометр немедленно зафиксирует.

Ток анодной цепи, фиксируемый гальванометром, в несколько тысяч раз больше фототока, но он пропорционален ему. Поэтому малейшее изменение величины фототока немедленно отмечается гальванометром в анодной цепи. Это обстоятельство делает очень удобным использование приведенной схемы, как демонстрационной для больших аудиторий. На рисунке 11 приведено изображение примерного расположения приборов, собранных согласно принципиальной схеме.

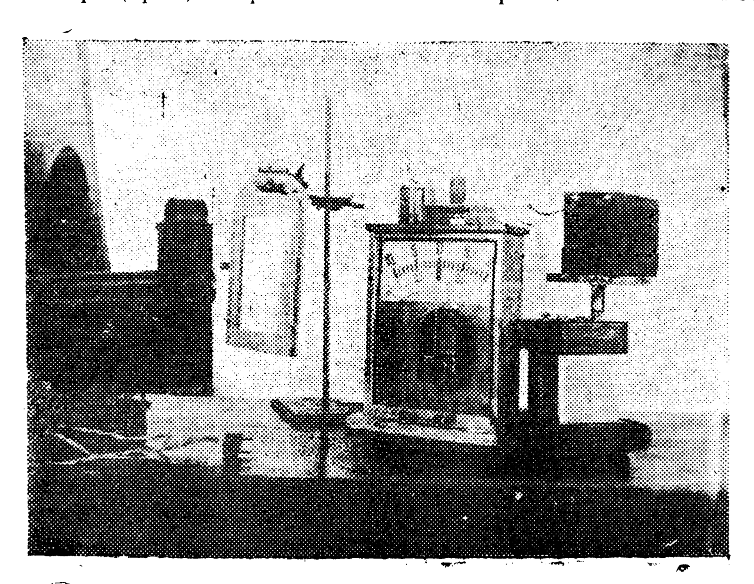


Рис. 11.

Порядок демонстраций тот же, что и приведенный раньше с чувствительным гальванометром.

Описанная установка удобна для качественного наблюдения зависимости фототока от величины светового потока. Также убедительно демонстрируется зависимость фототока от вещества катодных пластин.

Убедительность демонстраций достигается тем, что изменения потока и замена пластин наглядно и непосредственно связываются с изменением показаний гальванометра.

Подобная установка демонстрировалась на общеинститутской студенческой конференции УГПИ, на которой присутствовали преподаватели физики средних школ и учащиеся 10-х классов.

§ 3. ФОТОТОК НАСЫЩЕНИЯ

Цель занятия

На опыте подвести к понятию фототока насыщения. Пояснить различные участки кривой фототока с точки зрения физических процессов при фотоэффекте. Подвести к понятию задерживающего потенциала. Показать возможность измерения энергии, полученной фотоэлектронами от светового потока. Указать на независимость энергии фотоэлектронов от мощности светового потока. Отметить зависимость энергии фотоэлектронов от частоты (ν) или длины волны (λ) действующего светового потока. Объяснить невозможность обосновать фотоэлектрические явления на основанни волновой теории света.

Содержание занятия и постановка демонстраций.

Пользуясь фотоэлементом А. Г. Столетова, можно продемонстрировать зависимость фототока от напряжения и достижение тока насыщения. Для этого к ранее использованной схеме включения фотоэлемента (рис. 8) следует добавить потенциометр, в крайнем случае, имея набор сухих батарей (лучше БАС-60), включать их в схему последовательно; всякий раз, после наблюдения величины фототока, добавляя по одной батарее. Это позволит сделать 6—7 отсчетов. Для подачи напряжения на фотоэлемент можно также использовать кенотронный выпрямитель или умформер-преобразователь.

На доске следует заранее вычертить таблицу, в которую один из учеников будет заносить показания вольтметра и гальванометра. Второму следует поручить вести отсчет по по-

казаниям вольтметра и гальванометра и громко сообщать их. Преподавателю необходимо следить за работой электрической дуги и осуществлять общее руководство за всем ходом наблюдений, отсчетов и записей. Данные наблюдений записываются на доске и в тетрадях учеников. В таблице 4 приводятся данные наблюдений зависимости фототока от напряжения для того же фотоэлемента, который был использован и на предыдущих занятиях.

Таблица № 4

V—напряжение (в)	I—фототок в делениях шкал гальванометра	l—расстояние между фотоэлементом и дугой (см)
50	5	12
100	14	„
150	32	„
200	45	„
250	65	„
270	75	„
300	80	„
350	81	„
400	82	„
450	82	„

Преподавателю следует проанализировать данные наблюдений и обратить внимание учащихся на то обстоятельство, что по мере увеличения напряжения, вначале электрический ток значительно возрастет, но, начиная с некоторого значения напряжения, электрический ток достигает постоянного значения тока насыщения. Так, при увеличении напряжения

с 250 до 270 в, на 20 в ток увеличился на 10 единиц
с 270 до 300 в на 30 в ток увеличился на 5 единиц
с 300 до 350 в на 50 в ток увеличился на 6 единиц
с 350 до 400 в на 50 в ток увеличился на 1 единицу
с 400 до 450 в на 50 в ток увеличился на 0 единиц

Анализ наблюдаемого явления должен привести к выводу, что все фотоэлектроны, выбитые данным световым потоком, электрическим полем переносятся на сетку, чем и достигает-

ся ток насыщения. Следует также указать на то, что при увеличении светового потока в 2,3...1000 раз, и ток насыщения пропорционально возрастает и, наоборот, при уменьшении светового потока, ток насыщения пропорционально уменьшается. Это естественно, так как ток насыщения определяется полным количеством электронов, выбитых в секунду, а количество их, как мы установили ранее, пропорционально световому потоку. Для более наглядного представления зависимости фототока от напряжения необходимо по полученным табличным данным построить график. Такой график представлен на рис. 13.

§ 4. ЗАДЕРЖИВАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ

(Тормозящее поле)

Необходимо обратить внимание на очень важное обстоятельство. Приборы, с которыми мы проводили опыты, позволили нам вести наблюдения фототока, начиная с напряжения в десятки вольт. Если же пользоваться более точными приборами, то можно обнаружить, что даже при отсутствии напряжения выбитые светом электроны замыкают цепь, т. е. в цепи будет циркулировать фототок.

Чтобы полностью прекратить фототок, необходимо приложить отрицательное напряжение — задерживающий потенциал — V. Кривую фототока, полученную опытным путем, продолжим влево до полного исчезновения фототока (см. пунктирную линию на рис. 12).

Особого внимания заслуживает анализ кривой фототока в области задерживающего потенциала V_1. То обстоятельство, что кривая не обрывается резко, а постепенно падает до нуля, указывает, что фотоэлектроны, освобожденные из пластинки, обладают различными скоростями v, а следовательно, и различными кинетическими энергиями $E=\frac{mv^2}{2}$.

По мере того, как возрастает тормозящее поле, фотоэлектроны, обладающие недостаточной кинетической энергией, не достигают сетки, фототок падает, что мы и наблюдаем. Очевидно, максимальной кинетической энергии Em будут обладать те фотоэлектроны, для торможения которых надо приложить максимальное тормозящее поле Vm, при котором фо-

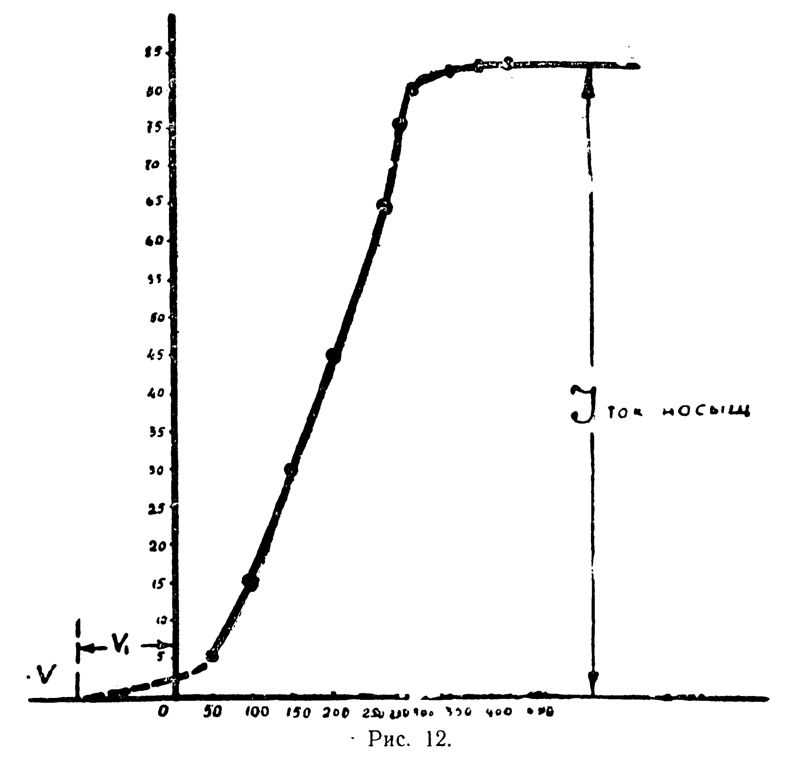


Рис. 12.

тоток упадет до нуля. В этом случае вся кинетическая энергия фотоэлектронов будет израсходована на работу по преодолению тормозящего поля:

$$E_m = \frac{mv^2}{2} = e V_m.$$

Эту энергию можно подсчитать, зная величину заряда фотоэлектрона ($e = 4,8.10^{-10}$ ед. CGSE) и величину тормозящего потенциала Vm_1, которую отсчитываем по показанию вольтметра. Ввиду трудностей эксперимента задерживающий потенциал в школьных условиях продемонстрировать невозможно.

Причину того, что выбитые фотоэлектроны обладают различными скоростями, следует искать в том, что часть фотоэлектронов освобождается с поверхности, а часть из более глубоких слоев вещества. Фотоэлектроны, освобожденные из нижележащих слоев вещества, при своем движении будут

испытывать влияние встречных электронов и атомов, что приводит к их торможению и к изменению направления их скорости. Таким образом, электроны, лежащие несколько глубже поверхностного слоя вещества, прежде чем выйти за пределы его, т. е. стать фотоэлектронами часть полученной энергии от светового потока растратят на преодоление препятствий внутри вещества.

Для подсчета той энергии, которую электроны получают от светового потока, прежде чем стать фотоэлектронами, следует учитывать именно максимальную кинетическую энергию Em, кроме того, необходимо учесть, что и поверхностные электроны вещества в обычном состоянии сами не покидают вещество, чтобы выйти за пределы вещества, необходимо еще затратить энергию на преодоление электрических сил, удерживающих электроны. Эта энергия, необходимая на отрыв электронов от вещества, получила название работы выхода А.

Для различных веществ величина работы выхода А различна (здесь уместно напомнить об опытах по фотоэффекту на различных веществах). Следовательно, полная энергия, получаемая от светового потока, фотоэлектроном с максимальной скоростью равна:

$$E = \frac{mv^2}{2} + A \quad (a)$$

В полученном выражении кинетическую энергию $\frac{mv^2}{2}$ мы можем измерять при помощи задерживающего потенциала, работа выхода А для различных веществ также определяется с большой степенью точности по данным термоионной эмиссии.

Здесь преподавателю следует обратить особое внимание на последующее изложение, т. к. от того, насколько глубоко и сознательно будет усвоен дальнейший материал, будет зависеть естественный переход к квантовым свойствам света.

Опыт показывает, если взять источник монохроматического света и освещать им какое-либо тело, то независимо от интенсивности света величина энергии одного фотоэлектрона остается неизменной, т. е.

$$E = \frac{mv^2}{2} + A = \text{Const}$$

С изменением величины светового потока пропорционально изменяется только количество выбитых электронов, что каче-

ственно мы установили опытным путем на предыдущих занятиях. Если тем же источником света, с неизменной длиной волны освещать различные тела, то установленная закономерность для полной энергии фотоэлектронов будет соблюдаться во всех случаях. При переходе от одного тела к другому будут меняться величина работы выхода А и максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона, но полная энергия, получаемая фотоэлектроном от светового потока, будет неизменной. Итак,

$$E = \frac{mv_1^2}{2} + A_1 = \frac{mv_2^2}{2} + A_2 = \cdots = \frac{mv_n^2}{2} + A_n = \text{Const.}$$

Полная энергия фотоэлектрона в широких пределах не зависит и от температуры тел.

Дальнейшие исследования показали, что полная энергия фотоэлектронов меняется только в том случае, если будет меняться длина волны или частота облучающего света. Следует напомнить, что из наших опытов также вытекали выводы о зависимости фотоэффекта от λ — длины волны света. Причем зависимость между полной энергией фотоэлектрона и длиной волны λ или частотой ν строго определенна: энергия фотоэлектронов тем больше, чем меньше длина волны λ или чем больше частота ν действующих лучей света.

С точки зрения волновой теории света зависимость энергии фотоэлектронов только от частоты, но не от интенсивности света, не объяснима. Согласно волновой теории света чем больше энергия, переносимая этими волнами, тем больше должна быть и энергия фотоэлектронов, но этого как раз и не наблюдается.

Таким образом, в фотоэлектрических явлениях обнаружились новые качества света, которые подчиняются другим закономерностям, отличным от волновых. Эти новые качества света изучаются в квантовой теории.

III. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА

§ 1. Световые кванты. Уравнение Эйнштейна.

Цель занятия

Изложить основные понятия квантовой теории света. Объяснить уравнение Эйнштейна, как частный случай закона сохранения энергии. На основании квантовых представлений объяснить явление фотоэффекта. Дать понятие о границе фотоэффекта.

В заключение сделать краткий обзор учений о свете. Подвести к пониманию того, что открытие новых качеств света еще больше раскрывает истинную его природу.

Подчеркнуть, что и новые сведения лишь приблизительно верно отражают многогранную природу света и являются новой ступенью в нашем познании света как одного из видов материи.

Объяснение новых качеств света, проявившихся в области фотоэлектрических явлений, было найдено на основании квантовой теории.

В 1900 году выдающийся физик Макс Планк выдвинул новую теорию для объяснения особенностей распределения энергии в спектакле абсолютно черного тела.

Согласно теории Планка лучеиспускание абсолютно черного тела представляет собой прерывистый процесс, при котором электромагнитная энергия излучается в виде отдельных порций, которые получили название квантов энергии. Носителями квантовой энергии являются материальные частицы — фотоны, своего рода атомы электромагнитного поля.

В дальнейшем, развивая свою квантовую теорию, Планк делает обобщение, что вообще всякие изучатели — молекулы, атомы, электроны — могут излучать и поглощать энергию только квантами.

Таким образом основой новой квантовой теории лучеиспускания и поглощения является дискретность или прерывность в отличие от представлений волновой теории, которая эти процессы рассматривала как непрерывные.

Теоретические выводы привели Планка к формуле, при помощи которой можно вычислить квант энергии ε любого фотона. Этот квант энергии ε равен: $\varepsilon = h\nu$, где

$h = 6{,}6.10^{-27}$ эрг. сек.

— постоянная Планка, ν — частота световых колебаний.

В связи с квантовой теорией света возникает очень важный вопрос: в каком виде надо представлять себе световой поток в промежутке между моментами излучения и поглощения, т. е., когда излученный поток еще не поглощен.

Если бы мы пытались объяснить это явление на основе электромагнитной волновой теории света, то мы зашли бы в тупик, из которого нет выхода.

В самом деле, излучение является прерывистым, атомистическим процессом, при котором излучаются отдельные фотоны с определенными квантами энергии, но, покинув тело, оно должно превратиться в непрерывный волновой процесс, а в

момент поглощения другим телом этот поток вновь должен превратиться в прерывный, дискретный.

В 1905 году известный физик Альберт Эйнштейн выдвинул гипотезу, согласно которой световой поток распространяется между излучателем и поглощателем в виде отдельных частиц, атомов света — фотонов, несущихся со скоростью света:

$$C = 3.10^{10} \text{ см/сек.}$$

В настоящее время наука о свете, опираясь на квантовые законы излучения и поглощения фотонов, на дискретный квантовый характер самого светового потока, сложилась в довольно стройную систему — квантовую теорию света.

По квантовой теории света процесс излучения заключается в испускании телом дискретных фотонов, образующих световой поток, причем каждый фотон обладает квантом энергии и массой. В отличие от других элементарных частиц фотон не обладает массой покоя.

Эйнштейну принадлежит заслуга применения квантовой теории света для объяснения явлений фотоэффекта.

По квантовой теории каждый фотоэлектрон получает энергию от какого-либо одного фотона в виде кванта энергии.

$$\varepsilon = h\nu$$

За счет этой энергии фотоэлектрон вырывается из вещества и получает кинетическую энергию. Поэтому уравнение (а) можно записать в виде:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A \qquad (б).$$

Уравнение (б) получило название уравнения Эйнштейна.

По существу уравнение Эйнштейна выражает собой закон сохранения и превращения энергии в фотоэлектрических явлениях. В самом деле, если произошел элементарный фотоэффект, то это произошло за счет энергии поглощенного фотона. Измерения показывают, что энергия фотона $h\nu$, поглощенная в элементарном акте фотоэффекта, в точности равняется сумме кинетической энергии фотоэлектрона и работе выхода.

С точки зрения квантовой теории света становится понятным, почему при увеличении общей энергии светового потока не увеличивается энергия отдельного фотоэлектрона. В самом деле, при увеличении светового потока увеличивается только количество фотонов, но не энергия каждого из них.

До тех пор, пока частота падающего света остается неизменной, не меняется и величина кванта энергии фотона. А так

как энергия фотоэлектрона определяется энергией поглощенного фотона, то естественно, что она остается неизменной, пока не изменяется величина кванта энергии фотона или частота облучаемого света.

Для сравнения в таблице № 5 приведем значение квантов энергии, соответствующих разным частотам.

Таблица № 5

	Длина волны λ мк	Частота	Величина кванта энергии фотона (эрги)
Красная крайняя часть спектра	0,76	400.10^{12}	$2.6.10^{-12}$
Желтый свет раскаленных паров натрия	0,59	500.10^{12}	$3.3.10^{-12}$
Крайняя фиолетовая часть спектра	0,4	750.10^{12}	5.10^{-12}
Крайняя ультрафиолетовая часть спектра	5.10^{-3}	6000.10^{12}	39.10^{-12}
Крайние рентгеновские лучи	4.10^{-6}	75.10^{18}	49.10^{-8}

Как видно из таблицы, крайние фиолетовые лучи образуют кванты энергии в 2 раза больше, нежели крайние красные лучи, крайние ультрафиолетовые лучи обладают квантами энергии в 8 раз превосходящими кванты фиолетовых лучей, а крайние рентгеновские лучи имеют кванты в 100.000 раз больше, нежели кванты видимых фиолетовых лучей.

Квантовая теория света просто разрешает вопрос о том, почему некоторые тела испускают фотоэлектроны под действием видимой части света, а для большинства тел требуется облучение ультрафиолетовыми лучами (мы сами проверили это на опытах).

Пользуясь уравнением Эйнштейна, можно решить вопрос о том, в каких случаях при облучении тела может быть фотоэффект, в каких случаях он не наблюдается.

Если взять какое-либо тело, например алюминий, и освещать его, скажем, очень короткими ультрафиолетовыми лучами, то, как мы уже знаем, из него будут выбиваться электроны.

В этом случае выполняется условие:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A$$

При постепенном уменьшении частоты ν облучающего потока будет уменьшаться величина кванта энергии фотона в потоке (левая часть уравнения ($h\nu$), но так как величина работы выхода А для данного вещества есть величина постоянная, то под воздействием фотонов с меньшими квантами энергии будет убывать кинетическая энергия фотоэлектронов и, следовательно, их скорость. И может наступить такой граничный момент, когда

$$\varepsilon_0 = h\nu_0 = A$$

т. е. когда энергия фотона целиком расходуется на работу выхода фотоэлектрона из вещества. Но этот фотоэлектрон уже не обладает кинетической энергией. При частотах облучающего света, меньших ν_0 фотоэффект прекращается.

Частота $\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0}$, ниже которой фотоэффект не наблюдается, получила название граничной частоты или красной границы фотоэффекта.

Приведем таблицу 6 красных границ фотоэффекта для некоторых веществ.

Таблица № 6

Вещество	Li	Na	K	Rb	Cs	Cu	Zn	Al	Fe	C
$\lambda (m\mu)$	540	528	590	590	628	230 254	293	290	260	260

Как видно из таблицы, только щелочные металлы имеют красную границу в области видимых световых волн, но с ними мы не могли экспериментировать, т. к. они быстро окисляются на воздухе.

Теперь становится понятным, почему для получения фотоэффекта мы облучали тела ультрафиолетовыми лучами, а не видимыми. Для большинства тел, с которыми мы имеем дело, работа выхода А превосходит энергию фотонов видимого света. Для них частота видимого света ν меньше красной границы фотоэффекта ν_0.

Таким образом, если освещать тела светом, частота которого ниже граничной частоты, то можно израсходовать сколько угодно энергии, но фотоэффекта не получится, так как энергия каждого фотона такого потока меньше работы выхода, поэтому они не могут освободить электронов.

Приведенная методика изложения квантовых свойств света, в зависимости от педагогического мастерства преподава-

теля, может быть проведена с большей или меньшей степенью убедительности.

Следует иметь в виду, что на фотоэлектрических явлениях мы не демонстрируем непосредственно действие отдельных фотонов света.

Поэтому для убедительности автор считает необходимым в заключение сообщить о визуальных наблюдениях действия отдельных квантов рентгеновских лучей и о работе академика С. И. Вавилова по наблюдению флуктуаций светового потока.

Величины энергии фотонов видимого света настолько малы, что с ними трудно экспериментировать в смысле наблюдения действия отдельного кванта. Но если обратиться к квантам рентгеновских лучей, то как мы знаем, они обладают энергией в 100000 раз больше, нежели энергия фотонов видимых лучей, поэтому для наблюдения действия отдельного фотона естественно удобнее использовать именно мощные фотоны рентгеновских лучей. Особенно убедительные опыты в этой области принадлежат советским физикам А. Ф. Иоффе и Н. И. Добронравову.

Ведя наблюдение за заряженной пылинкой металла, они непосредственно наблюдали действие отдельных рентгеновских фотонов на эту пылинку, которое заключалось в вырывании отдельных электронов.

Отдельные исследователи, работая с очень слабым источником рентгеновских лучей, доказали опытным путем, что энергия переносится не равномерно во все стороны, как этого требует волновая теория, а в виде квантов, которые от случая к случаю удается зафиксировать. При слабых источниках лучей, ввиду ограниченного количества фотонов, удается обнаружить, что в отдельные равные моменты времени по различным направлениям от источника исходит не одинаковое количество фотонов или даже и в одном направлении в отдельные равные промежутки времени количество испускаемых фотонов меняется. Это явление известно под названием флуктуаций светового потока.

Особенно убедительные и тончайшие по экспериментальному искусству опыты, доказывающие квантовые свойства света, принадлежат академику С. И. Вавилову и его сотрудникам.

В качестве приемного устройства слабого потока световой энергии Вавилов использовал глаз, который по своей чувствительности до сих пор еще превосходит фотоэлектрические приборы. В основу опытов было положено наличие резкого поро-

га зрительного восприятия глаза, которое заключается в том, что световая энергия, меньшая некоторого минимального количества, глазом не воспринимается.

По данным Вавилова, количество фотонов видимого света, вызывающих зрительное ощущение, определяется несколькими десятками. Если обозначить наименьшее количество фотонов, соответствующее порогу зрительного ощущения, через n_0 и действительно попадающее в глаз через n, то свет будет восприниматься только в тех случаях, когда в глаз попадает число фотонов $n > n_0$. Во всех случаях, когда в глаз попадет количество фотонов $n < n_0$, зрительное ощущение будет отсутствовать. Именно, доведя величину мощности источника до состояния, когда в глаз попадало предельное количество фотонов n_0, Вавилов обнаружил, что в отдельные моменты времени источник света, как бы исчезал из поля зрения, хотя в действительности он продолжал излучать фотоны. Такое мигание источника света существует только для глаза, в действительности же источник излучает фотоны все время, но благодаря флуктуации глаз то воспринимает свет, то не воспринимает.

Краткое сообщение об этих опытах в известной степени должно восполнить тот недостаток, который связан с отсутствием наглядных демонстраций, непосредственно подтверждающих квантовую природы света.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На фотоэлектрических явлениях мы познакомились с новыми свойствами света и установили новую закономерность — квантовый характер при передаче светом энергии веществу. Естественно возникает вопрос: что же представляет собой световой поток: электромагнитные волны или поток фотонов?

В пользу волновых представлений говорят такие физические явления, как интерференция, дифракция и поляризация света, эти явления не объяснимы с точки зрения квантовой теории. Явления, связанные с фотоэлектрическими процессами, естественно объясняются квантовой теорией и не объяснимы с точки зрения волновых представлений. Как видно, наши познания о природе света достигли такого уровня, когда уже невозможным стало объяснение проявлений всех его многообразий с точки зрения только одной какой-либо теории. Поэтому наука пошла по пути объединения этих двух теорий, т. е. волновой электромагнитной и квантовой.

С точки зрения наглядного представления и аналогий с

другими известными и изученными нами явлениями такое объединение двух теорий несколько непривычно для восприятия, но оно необходимо, так как полнее отражает истинную природу световых явлений.

С практической точки зрения, в зависимости от наблюдаемых явлений, бывает удобно мысленно представить световой поток то как волны, то как поток фотонов.

Но всегда следует помнить, что световой поток един, разделение служит лишь для удобства, с точки зрения наглядного представления.

Кратко проследим диалектику наших познаний о природе света.

Ньютоновское представление о потоке световых корпускул и их механическое взаимодействие с веществом продержалось в науке до тех пор, пока не были открыты факты, противоречащие этой теории: в более плотных веществах скорость света оказалась меньше, вопреки выводам Ньютона и, кроме того, были обнаружены волновые свойства света: интерференция, дифракция и поляризация. Корпускулярная теория света была заменена волновой теорией с механическим носителем волновых процессов всезаполняющим эфиром.

Теоретические исследования механической волновой теории света привели к странным свойствам эфира: колоссальная упругость, исчезающе малая плотность и переменные физические свойства в зависимости от среды, которую он заполняет. Вскоре обнаружилось, что световые волны являются частным случаем более общего и распространенного явления в природе — электромагнитных колебаний, для которых отпадает необходимость в наличии механического эфира с непонятными физическими свойствами. Наконец, фотоэлектрические явления обнаружили квантовые свойства света. Однако квантовые свойства света не следует противопоставлять волновым свойствам, тем более, что и сами квантовые качества света выражаются через волновые характеристики λ и ν.

Как мы уже отметили, наука пошла по пути объединения — синтеза этих качеств (волновых и квантовых), которые наиболее полно отражают истинную природу световых явлений.

Но, рассуждая диалектически, мы всегда должны помнить, что по мере развития науки будут вскрываться и такие стороны световых явлений, которые в настоящее время еще не известны, с каждым новым открытием мы все больше будем познавать истинную природу световых явлений.

«В теории познания, как и во всех других областях науки, следует рассуждать диалектически, т. е. не предполагать готовым и неизменным наше познание, а разбирать, каким образом из незнания является знание, каким образом неполное, неточное знание становится более полным и более точным».

(В. И. Ленин. «Материализм и эмпириокритицизм», стр. 85, изд. 1946 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. **В. И. Ленин.** Материализм и эмпириокритицизм. ОГИЗ, 1946.
2. **И. Ньютон.** Оптика. Гос. изд. 1927 г.
3. **Л. Гюйгенс.** Трактат о свете. Научн. тех. изд. 1935 г.
4. **А. Г. Столетов.** Собрание сочинений, том I, изд. 1939 г.
5. **С. И. Вавилов.** Действия света. Гос. изд. 1922 г.
6. **С. И. Вавилов.** Глаз и солнце. Изд. 1956 г.
7. **С. И. Вавилов.** Микроструктура света. Изд. 1950 г.
8. **С. Э. Фриш** и **А. В. Тиморева.** Курс общей физики, т. III, изд. 1957 г.
9. **П. А. Знаменский.** Методика преподавания физики в средней школе, изд. 1955 г.
10. **А. В. Перышкин.** Курс физики, т. III, изд. 1955 г.
11. **Э. В. Шпольский.** Атомная физика, т. I, изд. 1950 г.
12. **С. Г. Суворов.** Свет как вид материи. Журнал «Физика в школе», № 2, изд. 1953 г.
13. **С. А. Савченко.** Фотоэлектрический эффект и его технические применения. Издание 1956 г.
14. **Г. С. Ландсберг.** Оптика, стр. 445—446, изд. 1947 г.
15. **Д. Д. Галанин и др.** Физический эксперимент в школе, стр. 404, изд. 1941 г.
16. **П. А. Знаменский.** Методика преподавания физики в средней школе, стр. 484, изд. 1947 г.
17. **А. Б. Млодзеевский.** Лекционные демонстрации по физике, вып. 4, стр. 87—89, изд. 1948 г.
18. **Беженцев.** Техника и методика лекционного эксперимента по курсу физики, стр. 232—233, изд. 1938 г.
19. **Н. И. Выгановский.** Демонстрация фотоэффекта. Журнал «Физика в школе», № 1, 1952 г.

IV. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭФФЕКТА

Цель — ознакомить учащихся с современными фотоэлементами, основанными на внешнем фотоэффекте и на фотоэффекте в запирающем слое.

Продемонстрировать в действии различные фотоэлементы, изготовляемые отечественными заводами. Познакомить с практическим использованием фотоэлементов в различных областях науки, техники и народного хозяйства.

Задача преподавателя заключается в том, чтобы знакомство учащихся с современными вакуумными и газонаполненными фотоэлементами было естественно связано с изучением первого фотоэлемента Столетова. Для этого следует сопоставить основные части различных фотоэлементов (катод и анод) и указать на различие их лишь внешнего устройства.

Демонстрация фотоэффекта в запирающем слое убедительно осуществляется на купроксных и селеновых фотоэлементах, которые стали обычными приборами кабинета физики.

На материале этого занятия преподавателю предоставляются самые широкие возможности организовать работу физического кружка.

Содержание занятия и постановка демонстрации.

§ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ

Существенным в первом фотоэлементе Столетова является наличие катода (металлической пластинки), из которой действием света освобождаются электроны, и металлической сетки, на которую действием электрического поля переносятся эти фотоэлектроны. Здесь следует еще раз показать фотоэлемент Столетова. Вынув катодную пластинку из прибора, мы показываем две основные части фотоэлемента: пластинку — катод и сетку — анод (см. рис. 7).

А. Г. Столетов, изучая свойства фотоэффекта и его закономерности, как мы уже отмечали, первый указал и на возможность его практического использования, как чуткого индикатора на малейшие изменения светового потока.

Дальнейшее исследование фотоэлектрических свойств чистых металлических поверхностей и состоящих из смеси различных металлов в большей степени принадлежит также нашим советским физикам. В этой области науки и техники следует отметить имена таких физиков, как Лукирский, Приле-

жаев, Лукьянов, Лушева, Хлебников, Моргулис, Тимофеев, Кубецкий и др.

Применение первого фотоэлемента Столетова на практике в том виде, в каком мы познакомились с ним, ограничивается его чисто техническими и конструктивными особенностями. Эти особенности нам уже известны:

1) требуется мощный источник ультрафиолетового света;

2) сила фототока чрезвычайно мала (порядка нескольких микроамперов) даже при таком мощном освещении, как электрическая дуга, и при сравнительно большой площади катода (15×20 кв. см);

3) даже такие катоды, как цинковые, медные, алюминиевые и латунные, через короткое время требуют повторной и тщательной чистки, т. к. они окисляются на воздухе и чувствительность их к фотоэффекту резко падает.

Мы уже отмечали, что для того, чтобы использовать свет видимой части спектра для фотоэффекта, необходимо воспользоваться щелочными металлами (натрий, калий, рубидий, цезий), для которых граничная длина волны лежит в области оранжевой и желтой части спектра (см. таблицу стр. 125).

Но щелочные металлы еще быстрее окисляются на воздухе, чем те, с которыми мы имели дело (медь, цинк, алюминий и др.). Поэтому фотоэлементы, в которых используются щелочные металлы, изготовляются в виде стеклянных баллонов, откаченных до высокого вакуума порядка 10^{-7} мм Hg, внутри которых помещаются катод и анод. Катодом служит или серебряная пластинка или серебряная пленка, нанесенные на внутреннюю часть баллона, покрытую щелочным металлом.

Для прохождения лучей света на катод в баллоне оставляется небольшое оконце, свободное от тонкой пленки катода. Анодом служит небольшое проволочное кольцо, помещенное в центре баллона. Схема такого фотоэлемента представлена на рис. 14. Такая форма фотоэлемента выгодна в том отношении, что почти весь свет, падающий через оконце, поглощается катодом, так как даже при частичном отражении света он вновь попадает на другие части катода. В настоящее время катод фотоэлемента представляет собой, как бы трехслойный «пирог». Нижний слой такого сложного катода является тончайшей пленкой серебра, на которую наносятся тонкая пленка окиси щелочного металла, например цезия, и, наконец, сверху покрывается пленкой чистого металлического цезия. Такие катоды имеют современные, так называемые, кислородно-цезиевые фотоэлементы. За последнее время большое рас-

пространение получили сурьмяно-цезиевые фотоэлементы, в которых катодом служит пленка из соединения сурьмы с цезием, нанесенная на внутреннюю поверхность стеклянного баллона. Для еще большего повышения чувствительности фотоэлементов в некоторых случаях их стали заполнять инертными газами, чаще аргоном. В таких газонаполненных фотоэлементах увеличивание тока идет за счет ионизации атомов аргона под ударами фотоэлектронов. Кроме большой чувствительности, сложные катоды обладают еще специфическими особенностями. Мы знаем, что чистые металлы тем более чувствительны к световому потоку, чем больше частота облучающего света.

Сложные же катоды особенно чувствительны к определенной области спектра. Увеличение или уменьшение длины волны за пределами такой избранной области ведет к резкому уменьшению чувствительности фотоэлемента. Такая закономерность в сложных катодах получила название «селективного» или «избирательного» фотоэффекта. Так, например, кислородно-цезиевые фотоэлементы обладают «избирательной» чувствительностью в области красных лучей, сурьмяно-цезиевые — в области сине-зеленых лучей.

Для краткого обозначения фотоэлементов принято условное обозначение:

Ц. Г. — цезиевые газонаполненные.

С. Ц. В.— сурьмяно-цезиевые вакуумные.

В зависимости от назначения фотоэлемента его размеры и внешний вид баллона бывают различными. Некоторые типы фотоэлементов помещают в металлический предохранительный кожух. На рис. 13 представлены схемы и внешний вид фотоэлемента, изготовленного Московским электрозаводом МЭЛЗ.

ДЕМОНСТРАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ В ДЕЙСТВИИ

Вариант 1-й

Необходимые приборы: 1) фотоэлемент ЦГ-4 или ЦГ-3, 2) гальванометр стрелочный чувствительностью 10^{-6}а, 3) сопротивление на 100.000 ом, 4) анодная батарея на 120—240 в, 5) настольная лампа на 25 вт., 6) набор фильтров, 7) зеркало размерами примерно 25×30 кв. см, 8) провода для соединения.

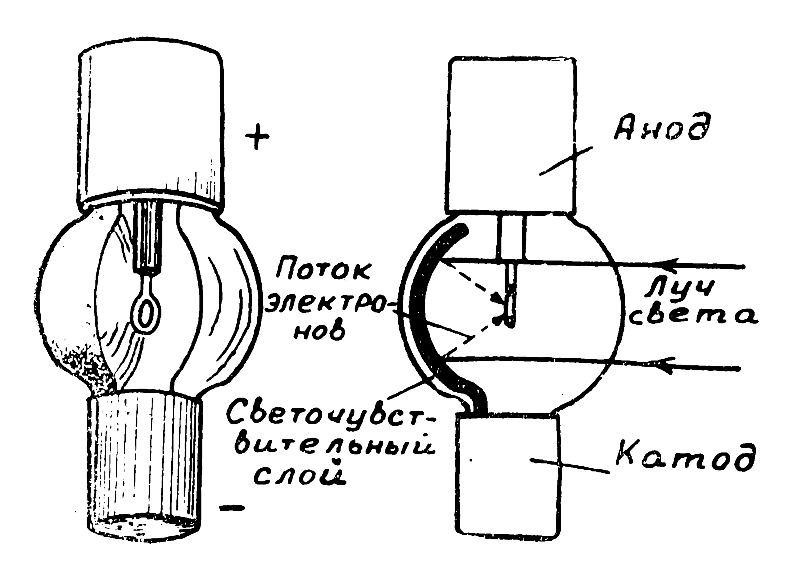

+
Анод
Поток
электро-
нов
Луч
света
Светочувст-
вительный
слой
Катод
—

Рис. 13.

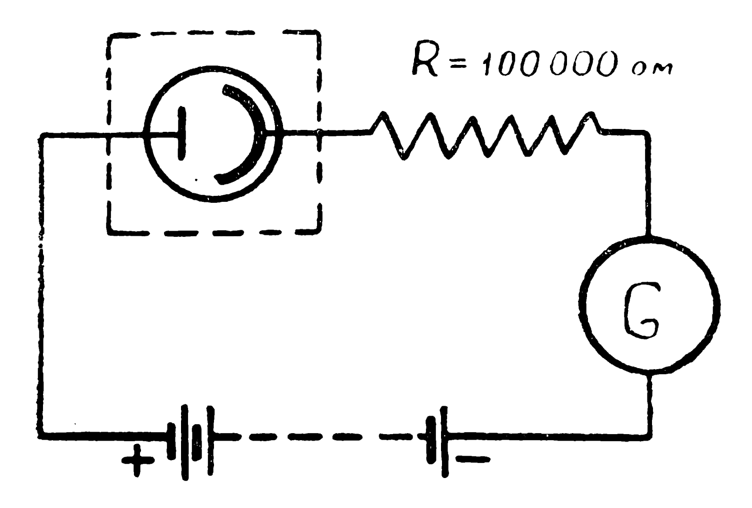

R = 100 000 ом
G
+
—

Рис. 14.

Произвести сборку демонстрационной установки по приведенной выше схеме (рис. 14).

Фотоэлемент должен быть закрыт картонной коробкой или колпачком от сильного влияния света. Примерное расположение приборов по указанной схеме представлено на фотографии рис. 15.

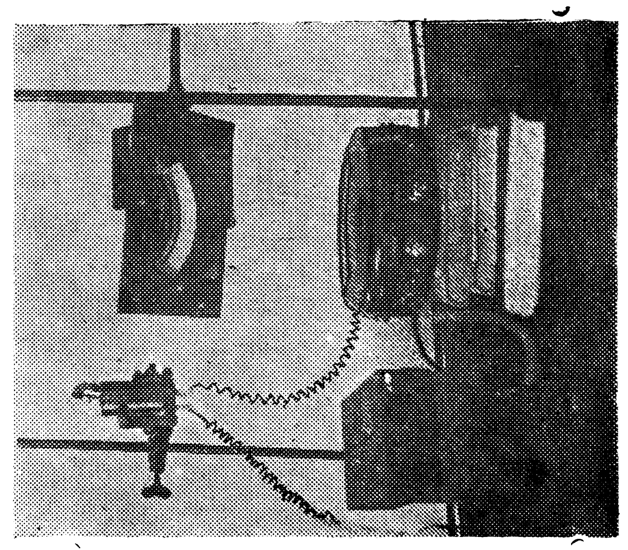


Рис. 15.

Обращаем внимание на простоту установки — небольшой по размерам фотоэлемент и отсутствие электрической дуги.

Порядок демонстрации

Демонстрация фотоэлемента в действии

1. Медленно приоткрывая колпачок, которым закрыт фотоэлемент или убирая руку, если вместо колпачка фотоэлемент прикрывали рукой, наблюдаем отклонение стрелки гальванометра (фотоэлемент оконцем должен быть обращен к окну). Обращаем внимание учащихся на то, что здесь на фотоэлемент действует дневной рассеянный свет, прошедший через стекла окон и через оконце фотоэлемента и в котором поэтому отсутствует ультрафиолетовый свет.

2. Обращая фотоэлемент оконцем внутрь комнаты, направляя его в темный угол, на темные предметы, например, на классную доску наблюдаем уменьшение фототока и, наоборот,

при поворотах фотоэлемента оконцем к окну наблюдаем резкое увеличение фототока.

Останавливаем внимание учащихся на замечательной способности фотоэлемента чутко реагировать на малейшие изменения светового потока. Кратко сообщаем о возможности практического использования этих свойств фотоэлемента.

Приводимые нами демонстрации с фотоэлементом ЦГ-4 и стрелочным гальванометром по схеме рис. 15 в пасмурный день показали, что в обращенном к окну фотоэлементе достаточно открыть оконце лишь наполовину, как стрелка гальванометра отклоняется на всю шкалу.

Демонстрация «избирательной» способности фотоэлемента.

1. Закрыть фотоэлемент картонным колпачком (лучше с плоскими стенками) с отверстием по размерам оконца фотоэлемента.

2. Меняя фильтры перед отверстием фотоэлемента, наблюдаем отклонения гальванометра (фильтры должны ставиться вплотную к колпачку, чтобы исключить попадание в фотоэлемент бокового рассеянного света).

Фильтры следует брать в порядке возрастающих или убывающих длин волн или от красного к синему или наоборот, но не в перемешку, с тем, чтобы легче было установить закономерность в избирательной способности.

Результаты наблюдений громко сообщаются одним из учащихся и заносятся в таблицу на доске и в тетради учащихся и затем используются для построения графика.

В таблице 7 приводятся результаты наших наблюдений (свет рассеянный, оконце фотоэлемента открыто наполовину, последовательно закрывается различными фильтрами).

Таблица № 7.

Напряжение (в)	Фильтр	Длина волны лучей, прошедших, через фильтр (приблизительно (ммк)	Фототок в делениях шкалы гальванометра
200	Темно-красный	750	59
„	Оранжевый	650	66
„	Светло-желтый	550	75
„	Синий	450	8
„	Темно-синий	430	1

Ниже приводится построенный нами по данным таблицы № 7 график спектральной характеристики фотоэлемента ЦГ-4 (рис. 16), из которого следует вывод об «избирательной» способности кислородно-цезиевого фотоэлемента к различным квантам света.

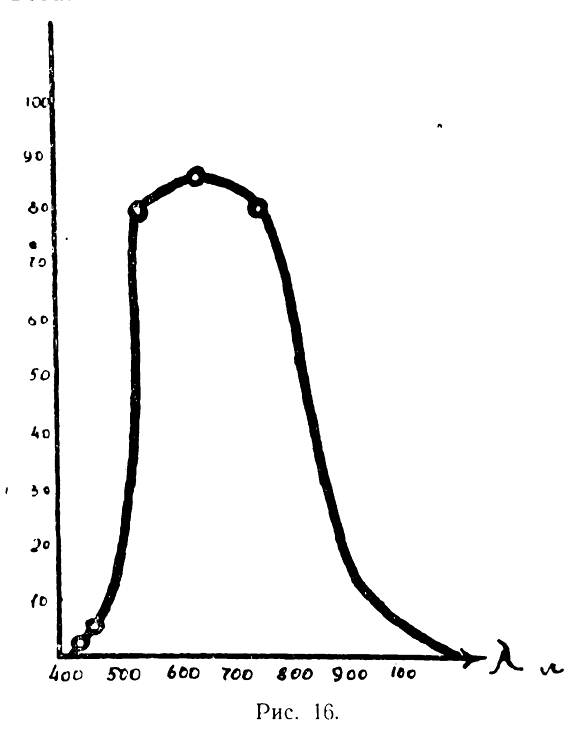


Рис. 16.

Вариант 2-й

Демонстрация фотоэлемента в действии

При наличии класса с затемнением в качестве источника света можно воспользоваться 25-ваттной электрической лампочкой. В этом случае оконце фотоэлемента можно открыть полностью. Меняя расстояние между лампой и фотоэлементом, отмечаем изменение величины фототока. В данном случае совершенно необходимо одному из учащихся вести наблюдения за показателями гальванометра, так как наблюдения при 25-ваттной лампочке для всего класса затруднено, а другому записывать их на доске.

Преподаватель меняет расстояние между фотоэлементом и лампочкой по заранее нанесенным меткам на столе.

В таблице № 8 приводятся данные одной из демонстраций с фотоэлементом ЦГ-4.

Таблица № 8

Напряжение (в)	Расстояние между фотоэлементом и лампочкой (м)	Показание гальванометра в делениях шкалы
200	0,5	100
„	1	25
„	2	6
„	3	2,5

Как видно, величина фототока в пределах ошибок наблюдения изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника света до фотоэлемента. Закономерность изменения величины светового потока, в зависимости от расстояния для точечного источника, учащимся уже известна из курса оптики. Поэтому в данном случае особенно убедительно демонстрируется пропорциональность фототока от величины светового потока — закон Столетова.

Демонстрация «избирательной» способности фотоэлемента

Расположив лампу на таком расстоянии, при котором гальванометр дает максимальное отклонение (на всю шкалу), поочередно закрываем оконце фотоэлемента различными фильтрами, соблюдая порядок, указанный в 1-м варианте. Показания гальванометра также заносятся в таблицу.

В таблице № 9 приводятся данные результатов опыта для первого положения, отмеченного в предыдущей таблице:

График спектральной характеристики фотоэлемента, построенный по данным таблицы № 9, показан на рис. 17.

Как и в первом варианте, график убедительно демонстрирует ярко выраженную избирательную способность фотоэлемента в области желто-оранжево-красных лучей.

Несколько различный ход спектральных характеристик в 1-м и во 2-м вариантах для одного и того же фотоэлемента

Таблица № 9

Напряжение (в)	Фильтр	Длина волн (приблизит. при ммк)	Показание гальванометра (деления) шкалы
200	Темно-красный	750	80
„	Оранжевый	650	85
„	Светло-желтый	550	80
„	Синий	450	3
„	Темно-синий	430	1/2

следует объяснить различным составом спектра рассеянного дневного света и электрической лампочки.

Необходимо сообщить, что в настоящее время изготовле-

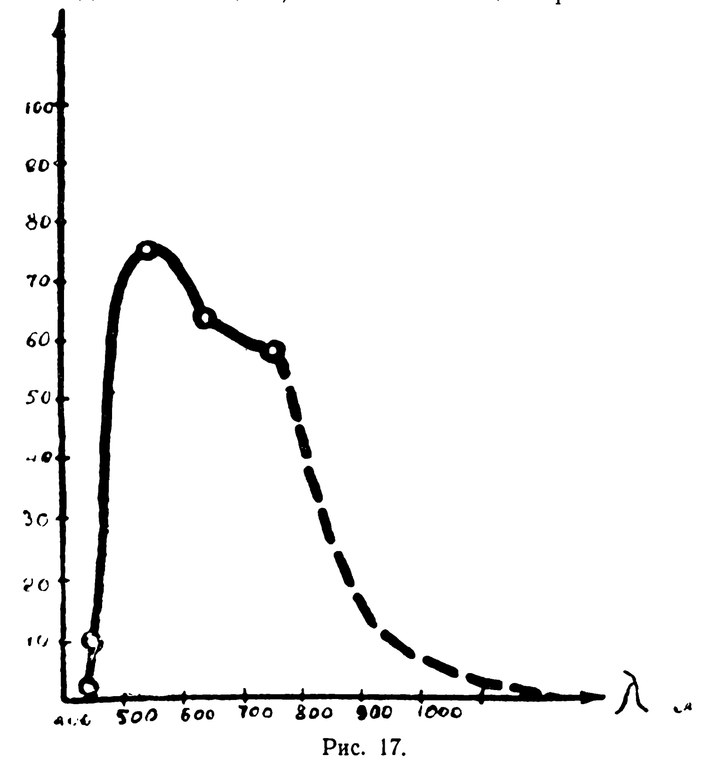


Рис. 17.

ны и уже используются в практике фотоэлементы, чувствительные только к инфракрасному свету. Кратко сообщить также о возможности с помощью таких фотоэлементов вести наблюдения в темноте.

Демонстрации по наблюдению избирательного фотоэффекта можно вынести на физический кружок.

§ 2. ФОТОЭЛЕМЕНТЫ С ЗАПИРАЮЩИМ СЛОЕМ

В 1888 году русский ученый, профессор Казанского университета. В. А. Ульянин открыл фотоэффект в так называемом «запирающем» слое. Он подробно исследовал и описал технологию и свойства селеновых фотоэлементов с запирающим слоем (не смешивать с селеновыми фотосопротивлениями). Дальнейшие исследования в этой области привели к открытию запирающего слоя у целого ряда веществ при наложении их друг на друга.

Разработка и технологическое усовершенствование для практических целей открытого Ульяниным фотоэффекта в запирающем слое, или вентильного фотоэффекта, принадлежит ученым нашей Родины. Здесь надо отметить советских ученых Маслаковцева и Коломийца.

Замечательным свойством вентильных фотоэлементов является превращение световой энергии в электрическую без участия посторонних источников напряжения. Простейшим фотоэлементом с запирающим слоем является меднозакисный или купроксный фотоэлемент, схема которого представлена на рис. 18.

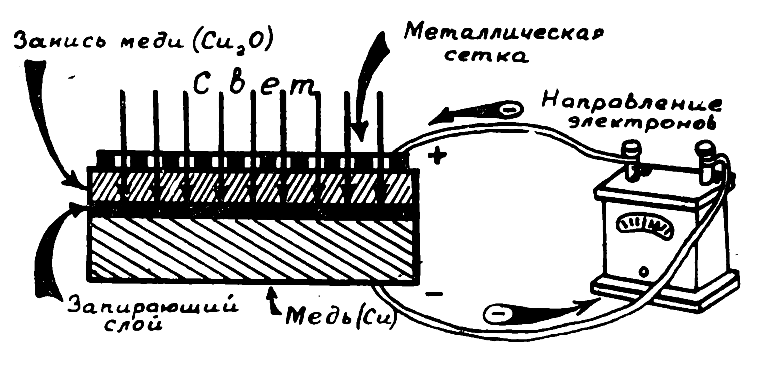


Рис. 18.

Изготовление такого фотоэлемента сравнительно несложно. Пластинка чистой меди толщиною в 1 мм, подвергается нагреванию до температуры 1000—1050°С, на поверхности меди образуется тонкий слой закиси меди (Cu_2O), если последующее охлаждение ведется на открытом воздухе, то слой закиси с поверхности покрывается черновато-бурой пленкой окиси меди (CuO)). Пленка окиси меди должна быть очищена слабым раствором серной кислоты. Закись меди имеет вид вишнево-красноватой стекловидной массы, толщиною порядка 0,1 мм. Промежуточный слой между чистой медью (Cu) и закисью меди (Cu_2O), толщина которого составляет $10^{-5}-10^{-6}$ см и является запирающим слоем. Такое название запирающего слоя он получил за свое свойство пропускать электроны преимущественно в одном направлении.

На рис. 18 схематично представлено действие купроксного фотоэлемента. Фотоны света, проникая в полупрозрачный слой закиси меди и отдавая кванты энергии, нарушают связи электронов с атомами, образовавшиеся электроны проводимости пропускаются запирающим слоем к чистой меди, вследствие этого в закиси меди образуется недостаток электронов, а чистая медь будет иметь избыток их. Вследствие этого между закисью меди и медью возникает разность потенциалов. Если на закись меди (передняя стенка) для осуществления с ней контакта, наложить металлическую сетку, а к медной пластинке (задняя стенка) припаять проводник и соединить его через гальванометр с сеткой, то при освещении закиси меди гальванометр укажет наличие тока в цепи (рис. 18). Как видно, в данном случае электрический ток возникает без участия посторонней электродвижущей силы, а лишь за счет световой энергии. Такие фотоэлементы, по направлению движения фотоэлектронов внутри элемента, получили название заднестенных или «тыловых».

Дальнейшие исследования и усовершенствования привели к более удобной конструкции вентильных фотоэлементов, в которых вместо металлической сетки контакт осуществляется тончайшей прозрачной пленкой напыленной платины, золота, серебра или меди. Схема такого фотоэлемента представлена на рис. 19.

В данном случае образуется второй запирающий слой между закисью меди и напыленной металлической пленкой.

Переход электронов под действием квантов света происходит преимущественно из закиси меди на металлическую пленку, электрический ток будет иметь противоположное направ-

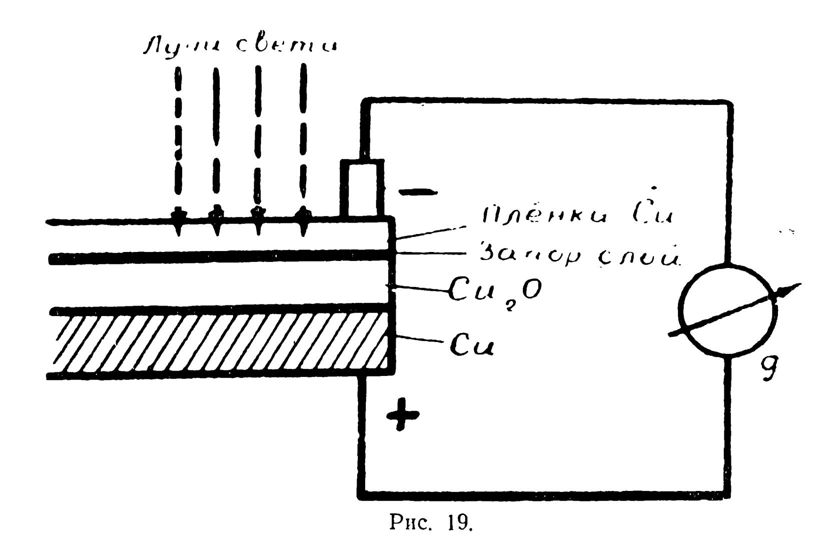


Рис. 19.

ление по сравнению с фотоэлементом, имеющим сеточный контакт. Такие фотоэлементы получили название переднестенных или «фронтовых».

Фотоэлементы с пленочным контактом удобнее потому, что контакты получаются надежными и постоянными, а световая энергия, проходя через тончайший слой прозрачной пленки, меньше поглощается в ней, нежели в заднестенных фотоэлементах, где происходит частичное поглощение энергии в сравнительно толстом слое закиси.

Кроме меднозакисных фотоэлементов, в настоящее время выпускаются серно-таллиевые, серно-серебряные и железно-селеновые. Все эти фотоэлементы разработаны нашими советскими учеными и изготовляются на наших отечественных заводах.

Демонстрация вентильных фотоэлементов в действии.

Для демонстрации необходимы следующие приборы: 1) купроксный фотоэлемент, 2) селеновый фотоэлемент, 3) стрелочный гальванометр чувствительностью 10^{-6} а, 4) стрелочный демонстрационный гальванометр. Настольная лампа на 100—150 вт, провода для соединения.

Меднозакисные фотоэлементы дают сравнительно слабый фототок, поэтому для демонстрации следует пользоваться чувствительным гальванометром. Хорошие селеновые фотоэлементы дают фототок достаточный для отклонения стрелки

демонстрационного гальванометра в пределах всей шкалы. Ввиду простоты показа этих фотоэлементов в действии ограничимся приведением фотографии примерного расположения приборов во время демонстрации (см. рис. 20).

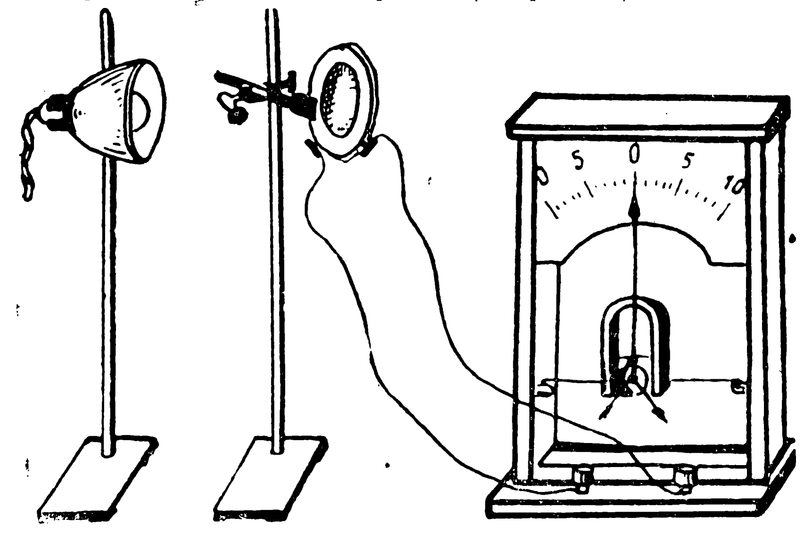


Рис. 20.

Основным вопросом, на котором сосредоточиваем внимание учащихся, является физический процесс непосредственного перехода световой энергии в электрическую без участия посторонней электродвижущей силы.

§ 3. ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ РЕЛЕ-ГАЛЬВАНОМЕТР

Наиболее наглядным является фотореле, в котором в качестве реле приспособлен демонстрационный срелочный гальванометр.

Для осуществления демонстрации необходимы следующие приборы и материалы: стрелочный школьный демонстрационный гальванометр, селеновый фотоэлемент, батарея на 4 в, лампочка от карманного фонарика, электрический звонок, моторчик, лампа мощностью 200—300 вт, латунная или железная полоска шириной 10—12 мм и длиной 13 см, 2—3 телефонных гнезда, клемма, проводники.

К гальванометру необходимо сделать несложное приспособление (рис. 21). На шкале укрепляются три гнезда, соеди-

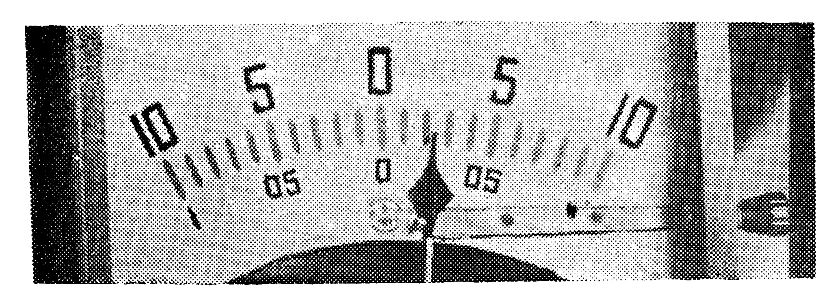


Рис. 21.

ненные общей металлической полоской. Вывод сделан к общей клемме на боковой стенке гальванометра. В любое из гнезд может быть вставлен штырек, лучше трубочка из мягкой тонкой латуни, которая амортизирует стрелку при сильных ударах.

При соприкосновении со штырьком стрелка замыкает исполнительную цепь.

В зависимости от величины фототока, протекающего через гальванометр, и от того, какую демонстрировать схему («запирающую» или «отпирающую»), пользуются тем или иным гнездом. На рисунках 22 и 23 показано положение стрелки прибора относительно штырька в реле, демонстрирующем по «запирающей схеме». При отсутствии фототока стрелка идет к нулевому положению и замыкает исполнительную цепь (штырек левее стрелки); как только через гальванометр пройдет фототок, стрелка отклонится и исполнительная цепь разомкнется. В этом случае гальванометр действует как «запирающее» реле.

Когда по гальванометру протекает фототок и стрелка, отклонившись из нулевого положения, коснется штырька и замкнет исполнительную цепь (штырек должен быть справа от стрелки), то мы будем иметь «отпирающее реле» (рис. 22).

Исполнительная цепь одним концом подключается к клемме, выведенной на боковую стенку гальванометра, а другим— к клемме прибора, которая соединена с обмоткой вращающейся рамки. На рис. 23 показана исполнительная цепь реле, действующая по «запирающей» схеме.

Для превращения реле-гальванометра в фотореле достаточно присоединить к нему фотоэлемент. Простейшее фотореле с селеновым фотоэлементом показано на рис. 24. В качест-

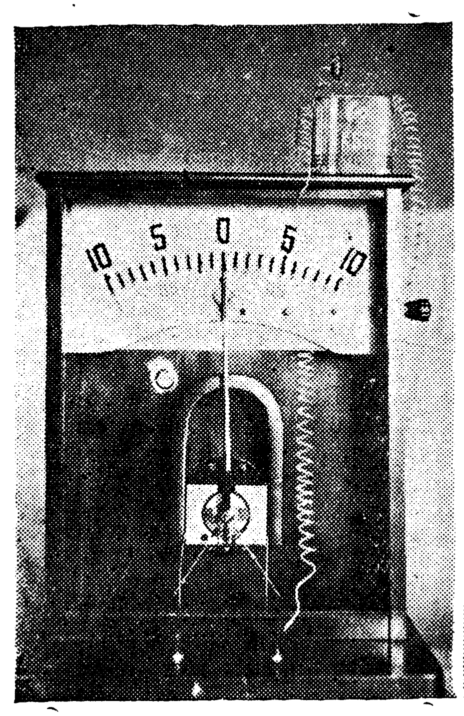


Рис. 22.

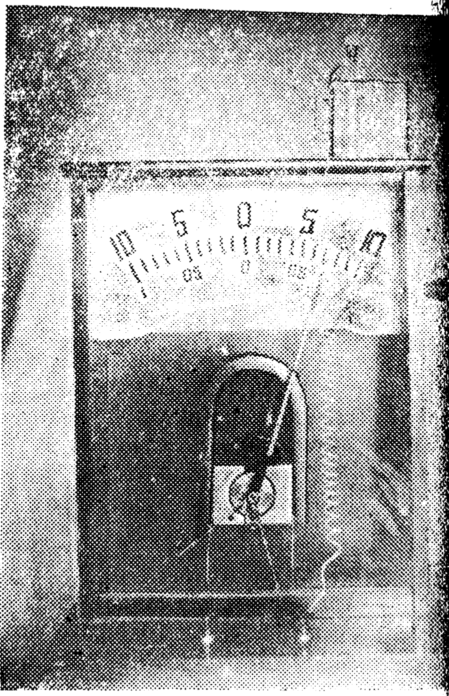


Рис. 23.

ве потребителей тока в исполнительной цепи можно использовать лампочку, звонок, моторчик.

Следует иметь в виду, что в исполнительную цепь предлагаемой схемы можно включить источники только постоянного тока с напряжением до 4 в. Надо следить за чистотой контакта в месте касания стрелки со штырьком. Стрелку в этом месте следует тщательно (но осторожно, чтобы не повредить подвижную систему) зачистить лезвием от безопасной бритвы или острым ножом.

Порядок демонстрации

Осветив лампой в 200—300 вт селеновый фотоэлемент и изменяя расстояние между ними, добиваемся отклонения стрелки гальванометра на 4—5 делений.

Постепенно перекрывая листом картона или рукой свето-

вой поток, показываем, что фотоэлемент реагирует на изменение освещения, что видно по величине отклонения стрелки. Поясняем, что закон пропорциональности фототока освещенности фотоэлемента можно использовать для практических целей.

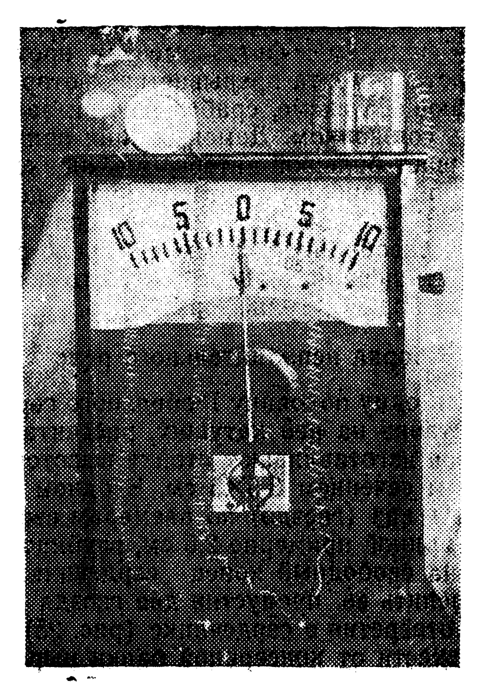


Рис. 24.

Освещаем фотоэлемент (стрелка отклоняется на 4—5 делений), вставляем в левое гнездо штырек и затем перекрываем световой поток. С прекращением фототока стрелка, возвращаясь в нулевое положение, задерживается штырьком и замыкает исполнительную цепь.

Последовательно включая в исполнительную цепь лампочку, звонок, моторчик и каждый раз повторяя демонстрацию, объясняем практическую значимость фотореле: для автоматического включения осветительных цепей, включения сигнализации промышленных установок и т. п.

Включение сигнализации можно осуществить в классе. Для этого свет от проекционного фонаря концентрируют на фото-

элементе, делая по возможности световой пучок параллельным. Фотоэлемент надо поместить в коробку, чтобы оградить его от рассеянного света, оставив открытой только одну сторону, обращенную к фонарю. Расстояние между фотоэлементом и фонарем 1—1,2 м. В исполнительную цепь можно включить звонок.

Если между фонарем и фотоэлементом проходит человек, то освещение фотоэлемента прерывается: фотореле, действующее по «запирающей» схеме, срабатывает и замыкает исполнительную цепь со звонком. Демонстрация получается убедительной и вызывает большой интерес у учащихся.

Для включения приборов, потребляющих переменный ток напряжением 120—220 в и значительную силу тока, в исполнительную цепь разобранной схемы фотореле следует дополнительно включить исполнительное реле. Его легко изготовить из школьного разборного трансформатора.

Сборка исполнительного реле

Следует взять одну половину Г-образного сердечника трансформатора, оставив на ней катушку, рассчитанную на 12 в. Из сухого дерева изготавливают стойку высотой примерно 11 см и поперечным сечением 3,5×5 см. В одном конце стойки следует выпилить паз (гнездо) по размерам сердечника трансформатора (шириной примерно 2,5 см, глубиной в 3 см.), насадить стойку на свободный конец сердечника параллельно катушке и закрепить ее, пропустив два гвоздя или проволоку через стойку и отверстие в сердечнике (рис. 25).

Из толстой жести от консервной банки вырезают полоску шириной 12—13 мм и длиной примерно 13 см и одним или двумя шурупами ее прикрепляют на торце деревянной стойки.

К одному концу полоски, выходящему за стойку, надо прикрепить клемму, а вторую клемму установить на сердечнике, использовав для этого уже готовое в нем отверстие.

Исполнительное реле нужно отрегулировать. Для этого его следует включить в исполнительную цепь фотореле (рис. 25) вместо потребителей тока (лампочки, звонка, моторчика). Исполнительное реле включается через клеммы, имеющиеся на катушке. Как только будет замкнута исполнительная цепь (напряжение не больше 4 в), полоска жести притянется к сердечнику катушки. Слегка изгибая полоску, надо добиться того, чтобы она свободно отскакивала от катушки при размыкании цепи. Хорошо на конце пластинки припаять 1—2 капли олова, чтобы касание с сердечником происходило

не по большей ее поверхности. В этом случае упругая сила пластинки свободнее преодолевает действие остаточного магнетизма.

Отрегулированное таким образом реле готово к действию.

Рабочую цепь (напряжением 120—220 в) следует подключить к клеммам на жестяной полоске и сердечнике трансформатора (рис. 25). Таким образом полоска жести и сердечник трансформатора будут являться частью рабочей цепи.

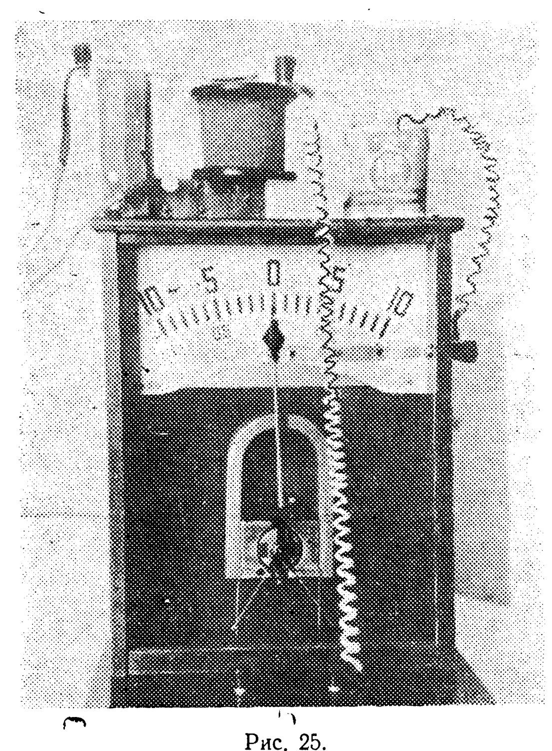


Рис. 25.

С помощью этой установки демонстрируется включение осветительной сети в здании, электросигнализации и действующих моторов (на рис. 25 фотоэлемент не подключен).

Для более широкого знакомства с вопросами применения фотоэлементов следует поставить доклад на физическом кружке с демонстрацией схем, картин и действующего фотореле, изготовленного физическим кружком.

На работу физического кружка можно вынести:

1. Сборка демонстрационного фотореле (см. рис. 25 и указания на страницах 146—147).

2. Сборка фотореле, работающего на переменном токе (от осветительной сети).

3. Сборка фотореле, работающего на постоянном токе.

4. Доклад. Использование фотоэлементов в технике и хозяйстве (с демонстрациями).

На внеклассную лабораторную работу можно вынести:

1. Снятие спектральной характеристики фотоэлементов ЦГ-4, ЦГ-3, селенового, меднозакисного при естественном освещении и вычерчивание графика (см. рис. 17).

2. То же, что и в первом случае, но при освещении от электрической лампочки (см. рис. 18).

ЛИТЕРАТУРА

1. **А. В. Перышкин.** «Курс физики». Изд. 1954 г., стр. 279—286.

2. **Д. Д. Галанин** и др. «Физический эксперимент в школе». Изд. 1941 г., стр. 406—416.

3. **С. Д. Клементьев.** Фотоэлектронная оптика. Изд. 1950 г.

4. **В. А. Мезенцев.** Электрический глаз. Изд. 1948 г.

5. **С. Д. Клементьев.** Зоркий помощник. Изд. 1950 г.

6. **С. В. Савченко.** Фотоэлектрический эффект и его технические применения. Изд. 1956 г.

7. **Н. И. Выгановский.** Демонстрационный реле-гальванометр. Журнал «Физика в школе». 1953 г.

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

Н. А. ДЕМОКРИТОВ

ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНАЯ И ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛЫ В КУРСЕ ФИЗИКИ 9-го КЛАССА

Практика учителей показывает, что изучение в 9-м классе вопросов, связанных с центростремительной и центробежной силами, до сего времени остается одним из трудных в методическом отношении. Трудность в основном определяется тем, что изложение этих вопросов в стабильном учебнике физики не во всех случаях является удачным, основные методические руководства разбирают эти понятия кратко и в некоторых случаях противоречиво, имеются противоречия в их толковании и в физической литературе, не говоря уже о научно-популярной, где сплошь и рядом эти вопросы освещаются ошибочно.

Настоящая статья не претендует на полное, исчерпывающее рассмотрение методики изложения в школе вопросов, связанных с изучением вращательного движения. Цель автора — показать, каким образом, опираясь на стабильный учебник (А. В. Перышкин. Курс физики. Часть 2. 1955—58 гг.), учитель может в последовательной и доступной форме изложить учащимся эти вопросы на должном научном и методическом уровне.

При изложении в школе темы «Криволинейное движение. Вращательное движение» надо исходить из следующих основных положений:

1. Все явления рассматривать с доступной пониманию учащихся инерциальной системы отсчета; т. е. все явления разбирать только с точки зрения неподвижного наблюдателя.

2. Все приложенные к телам силы рассматривать как результат взаимодействия двух (или нескольких) тел, исходя из

материалистического представления о силе как передаче количества движения одним физическим телом другому.

3. Встречающиеся устаревшие, не вскрывающие физического смысла термины давать учащимся с соответствующей критикой и параллельной заменой правильной и доступной их пониманию терминологией.

4. При изложении учебного материала темы в основном ориентироваться на стабильный учебник физики и отступать от него лишь в тех случаях, когда его изложение для учащихся явно затруднительно, неудачно, непонятно.

Так, материал первых пяти параграфов учебника можно излагать учащимся без каких-либо существенных изменений, надо лишь стремиться показать им и хорошо объяснить все описанные в них демонстрации. При изложении § 2 («Независимость движений...») надо обратить особое внимание учащихся на первую фразу: «Всякое криволинейное движение является сложным движением, состоящим из движения по инерции и движения под действием силы, направленной под углом к скорости тела» (стр. 5). Объясняя в будущем различные криволинейные и вращательные движения, следует исходить из этого, можно сказать, основного правила. При его объяснении надо отметить, что движение по инерции происходит после кратковременного единичного удара или серии последовательных ударов, а иногда после непрерывного воздействия какого-либо тела в течение некоторого, определенного времени. Конкретные примеры будут разбираться в дальнейшем. Причем учителю, говоря о движениях различных тел, не следует употреблять термин «сила инерции», так как такой силы в инерциальной системе координат не существует; существует инерция, проявляющаяся после прекращения действия силы.

§ 6 учебника «Центростремительное ускорение» следует излагать полностью, с выводом формулы. Вывод формулы центростремительного ускорения, изложенный в учебнике, для учащихся вполне доступен, его замена (по желанию учителя) другим — принципиального значения не имеет.

Надо обратить особое внимание на тщательность объяснения учащимся материала § 7 «Центростремительная сила». Во-первых, необходимо выяснить — зависимость центростремительной силы от входящих в ее выражение величин

$$(F=\frac{mv^2}{R}=m\omega^2R)$$

на нескольких практических примерах с движущимися на поворотах автомашинами, конькобежцами, поездами и т. п. Во-вторых, уяснить учащимся, что центростремительная сила не есть какая-либо особая сила, кроме уже известных им сил трения, упругости, тяготения и т. д., а одна из этих же сил или равнодействующая этих сил, препятствующая телу двигаться прямолинейно по инерции и удерживающая тело на криволинейной траектории.

Надо отметить, что термин центростремительная сила есть обобщающий термин, подобно терминам растение, животное, машина и т. д. Надо объяснить, что в каждом конкретном случае движения тела по кривой мы должны будем в дальнейшем находить, определять ту конкретную силу (результат взаимодействия конкретных тел), которая выполняет роль центростремительной силы.

На этом же уроке можно начать разбирать с учащимися примеры, когда центростремительное ускорение (следовательно, и сила) вызываются действием одной силы. Движение по кривой лежащего на столе и прикрепленного к пружине шарика (рис. 15 учебника) следует разобрать особенно подробно. Надо обратить внимание учащихся на то, что сила тяжести, действующая на шарик, уравновешивается реакцией стола, движение по инерции (правило § 2) мы получаем в результате кратковременного удара шарика, а упругая сила растянувшейся пружины выполняет роль центростремительной силы.

Со следующего урока (материал § 8) надо начинать пользоваться «центробежной» машиной. Целесообразно называть ее инерционной машиной, так как название «центробежная» совершенно не соответствует ее назначению и только путает учащихся и затрудняет учителей. С помощью этой машины мы обеспечиваем вращающимся телам возможность двигаться по инерции, и название инерционная полностью отвечает ее назначению.

Следует также считать, что название «центробежные» механизмы тоже неудачное. Оно наводит учащихся на ложную мысль о том, что действие этих механизмов объясняется проявлением центробежной силы, якобы приложенной к самим вращающимся телам: к частицам жидкости в сушилке, к грузам регулятора Уатта и проч. (очень распространенное мнение). Но это не так. Центробежная сила к вращающимся телам не приложена, она есть действие вращающегося тела на удерживающие его связи и приложена к связям.

Могут сказать, что к вращающимся телам приложена

центробежная сила инерции и этим определяется название «центробежные» механизмы. Это тоже неверно: центробежная сила инерции есть фиктивная, нереальная сила, для нее мы не можем указать взаимодействующих тел. Центробежная сила инерции — это понятие, вводимое в неинерциальной системе координат (не рассматриваемой в средней школе) для математического удобства разбора некоторых вопросов.

Название «центробежные» механизмы следует заменить названием инерционные механизмы, так как действие этих механизмов определяется движением по инерции (по касательной к круговой траектории). Название инерционные механизмы правильно отражает физический принцип их действия и вполне доступно пониманию учащихся (с понятием инерции учащиеся знакомы с 6-го класса).

Материал § 8-го учебника целесообразно проходить в три урока. На первом из них продолжаем демонстрации и разбор примеров, когда центростремительной силой является одна сила, действующая на тело. Примеры эти следующие:

Брусок на вращающемся диске (рис. 16 учебника). С помощью инерционной машины приводим диск во вращение и этим создаем условие для движения бруска по инерции. Сила тяжести бруска уравновешена реакцией диска, реакцией оси. Центростремительной силой является сила трения. Пока она достаточна для обеспечения центростремительной силы при данной скорости вращения $[F_{цс} = m\omega^2 R]$ брусок будет удерживаться на диске. С увеличением скорости сила трения окажется недостаточной для обеспечения соответствующей центростремительной силы и брусок слетит с диска по касательной, двигаясь по инерции.

Инерционная сушилка. Сила тяжести уравновешивается реакцией сетки и в конечном счете реакцией оси. Приводя сушилку во вращение, создаем условие для движения частиц жидкости по инерции. Центростремительной силой является сила молекулярного сцепления частиц жидкости друг с другом и с частицами ткани. Частицы жидкости начнут отрываться и двигаться по инерции, как только сила их сцепления окажется недостаточной для обеспечения величины центростремительной силы, соответствующей скорости вращения.

Гибкие обручи. Сила тяжести обручей уравновешивается реакцией оси. Приводя прибор во вращательное движение, создаем условие для возникновения движения обручей по инерции, что ведет к их деформации. Центростремительная сила обеспечивается силой упругости обручей. Центростреми-

тельная сила наибольшая по экватору, там возникает и большая деформация обручей.

Искусственный спутник Земли. На обращающийся вокруг Земли спутник действует только одна сила притяжения Земли, сила тяжести, она является центростремительной силой. При малых высотах по сравнению с радиусом Земли.

$$mg = \frac{mv^2}{R}$$

Движение по инерции обеспечено толчками двигателя ракеты, включая последний толчок в направлении касательной при выводе спутника на орбиту.

Этих примеров на один урок вполне достаточно.

На следующем уроке следует разобрать более сложные примеры образования центростремительной силы — движения, во время которых роль центростремительной силы выполняет равнодействующая 2-х сил, направленных по одной прямой. Из-за недостатка времени (один урок) приходится ограничиться разбором одного наиболее важного в политехническом смысле примера (с другими примерами можно познакомить учащихся при решении задач).

Движение автомашин по мостам различной кривизны. Разбор вопроса следует начинать с демонстрации явления на приборе Богословского, описанном в журнале «Физика в школе», № 2, 1954 г., стр. 49. Желательно в динамометр вставлять стекло с дополнительной фиксационной стрелкой, движущейся с небольшим трением. Эта стрелка должна иметь боковой выступ, за который должна отводить ее стрелка-указатель динамометра. Перед началом демонстрации фиксационная стрелка подводится рукой к стрелке-указателю. Ученики наблюдают и сравнивают силу давления на мост неподвижной машины и движущейся.

После установления того факта, что сила давления движущейся автомашины на вогнутый мост, следовательно, и реакция моста, больше веса автомашины, а на выпуклый — меньше, следует переходить к изложению теории этого явления. Как и в предыдущих случаях, начинать надо с выяснения сил, действующих на движущееся тело.

Когда автомашина равномерно движется по горизонтальному пути, на нее действуют силы: тяги двигателя, сопротивления среды, трения, тяжести и реакции пути. Все эти силы взаимно уравновешиваются и машина движется равномерно (1-й закон механики).

Когда машина движется с постоянной скоростью, например, по выпуклому мосту, то здесь возникает центростремительное ускорение и, следовательно, центростремительная сила (2-й закон механики). Какая реальная сила выполняет здесь роль центростремительной силы? Сила тяги двигателя продолжает, как и на прямолинейном пути, уравновешиваться силами трения и сопротивления. Но сила тяжести автомашины уже не уравновешивается реакцией моста, что учащиеся установили, наблюдая демонстрацию. Следовательно, на автомашину, движущуюся с постоянной скоростью по выпуклому мосту, действуют эти две неравные силы, направленные по одной прямой в противоположные стороны. Они в сумме дают равнодействующую, равную их разности и направленную в сторону большей силы. Эта равнодействующая и выполняет роль центростремительной силы.

Как определить величины этих сил? Вес автомашины P можно считать известным. Зная скорость движения, массу автомашины и радиус кривизны моста, мы можем вычислить и действующую на машину центростремительную силу $F_{цс}$; будем считать и эту величину известной. Остается неизвестной сила реакции моста.

Обозначим на чертеже (рис. 1) векторами действующие на машину силу тяжести P (вертикально вниз) и центростремительную силу $F_{цс}$ (к центру кривизны моста). Силу реакции моста Q пока не знаем, поэтому обозначим на чертеже штриховой линией сначала лишь ее направление (вертикально вверх). После этого определим величину силы Q следующим образом.

Из курса 8-го класса мы знаем, что равнодействующая двух сил, приложенных к одному телу и направленных по одной прямой в противоположные стороны, равна их разности и направлена в сторону большей силы. Зная направления и величины составляющих сил, мы можем найти их равнодействующую. Зная направления и величины равнодействующей и одной из составляющих, мы можем найти и неизвестную составляющую. В примере с автомашиной имеем этот случай.

Мы знаем, что центростремительная сила $F_{цс}$ есть равнодействующая сил P и Q и направлена она в сторону силы P (большая сила), следовательно $F_{цс} = P — Q$. Отсюда абсолютная величина силы реакции моста $Q = P — F_{цс}$. Теперь можем обозначить ее величину на чертеже вектором Q.

Сила реакции моста Q равна силе давления F машины на мост, следовательно, движущаяся с постоянной скоростью по

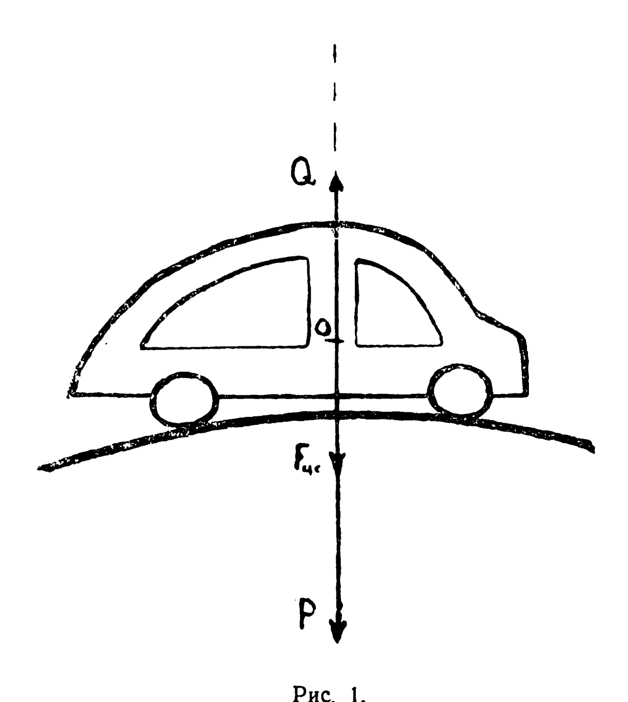


Рис. 1.

выпуклому мосту автомашина давит на него с силой, меньшей своего веса на величину центростремительной силы.

$$F = P - \frac{mv^2}{R}$$

Также определяя величину реакции моста, найдем силу давления движущейся с постоянной скоростью автомашины на вогнутый мост (рис. 2).

Условимся, что автомашина имеет тот же вес P (что и в 1-ом случае), движется с той же скоростью и по мосту той же кривизны, следовательно, действующая на нее величина центростремительной силы $F_{цс}$ — та же, поэтому и обозначим их

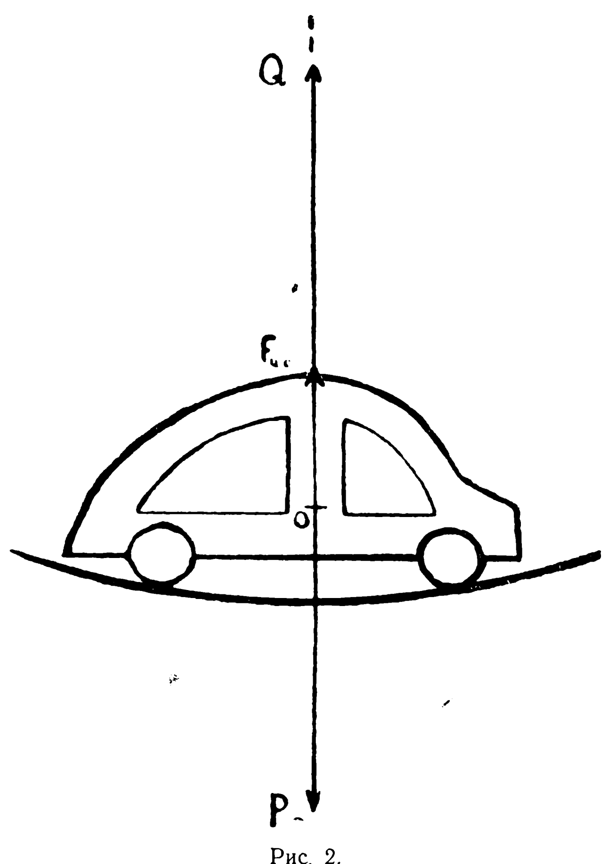


Рис. 2.

такими же по величине векторами, что и на рисунке 1. Вектор $F_{цс}$ направлен к центру кривизны моста, вертикально вверх, а направление реакции моста обозначим, как и в первом случае, сначала штриховой линией.

Зная, что $F_{цс}$ как равнодействующая сил P и Q направлена в сторону большей силы, мы напишем $F_{цс} = Q - P$, откуда абсолютная величина силы $Q = P + F_{цс}$, Обозначим вектор Q на чертеже.

Следовательно, сила давления автомашины на вогнутый мост будет больше веса автомашины на величину центростремительной силы.

$$F = P + \frac{mv^2}{R}$$

В заключение следует остановиться на конструктивной целесообразности мостов различной кривизны и на опасности прогиба мостов под движущимся транспортом. Говоря о целесообразности выпуклых мостов для различных видов транспорта, не надо упоминать о железнодорожных мостах. Железнодорожные мосты выпуклыми не строят, так как при движении поезда по выпуклому мосту существует опасность разрыва состава.

На следующем уроке надо разбирать примеры движений еще более сложные, когда центростремительная сила, действующая на обращающееся тело, определяется равнодействующей двух сил, действующих на тело под углом друг к другу. Это примеры: отвес на вращающемся столике, регулятор Уатта, движение конькобежца и поезда на закруглении (рис. 20—30 учебника). Их следует разбирать с учащимися так, как они описаны в учебнике (§ 8, пункты 3 — 6), то есть во всех случаях отмечать силу, компенсирующую имеющиеся сопротивления и обеспечивающую движение тела по инерции, а затем определять неуравновешивающиеся силы, действующие на тело: это — сила тяжести и сила реакции подвеса (конический маятник, регулятор Уатта и пр.) или сила тяжести и реакция опоры (конькобежец, велосипедист, поезд на повороте и т. п.). Эти силы направлены под углом друг к другу, их равнодействующая выполняет роль центростремительной силы.

Некоторые учителя считают целесообразным в этих случаях давать учащимся не те чертежи, которые даны в учебнике. Отмечая приложенной к телу лишь силу тяжести P, они раскладывают ее на силу натяжения подвеса P^1 и центростремительную силу $F_{цс}$ (напр. рис. 3).

Этот прием лишь формально допустим, а по существу он неверный и методически нецелесообразный. Дело в том, что в этом приеме: 1) не учитывается сила реакции подвеса (или опоры), бесспорно действующая на тело; 2) сила натяжения подвеса P^1 (или сила давления на опору) оказывается приложенной к самому обращающемуся телу, а не к связи, как это имеет место в действительности; 3) этот прием создает у уча-

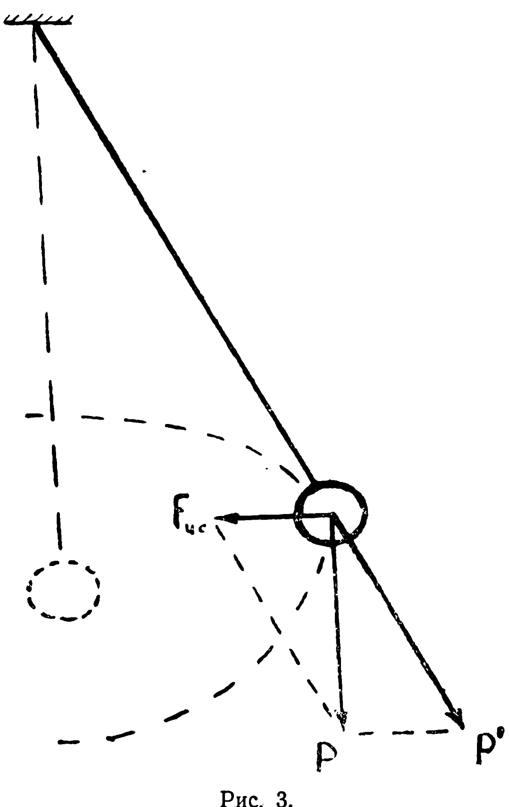


Рис. 3.

щихся ложное впечатление, что сила тяжести Р есть равнодействующая центростремительной силы и силы натяжения подвеса Р' (или силы давления на опору); 4) игнорируя силу реакции, мы нарушаем общий, установленный вначале, принцип выявления всех сил, действующих на тело.

Таким образом, постепенно от урока к уроку, усложняя рассматриваемые примеры и, конечно, закрепляя их решением соответствующих задач (что здесь не рассматривается), учитель обеспечит правильное понимание учащимися природы

центростремительной силы и умение находить ее в различных реальных примерах.

После того, как правильное и прочное понимание учащимися природы центростремительной силы обеспечено, следует ввести в рассмотрение 3-й закон механики и познакомить учащихся с центробежной силой как силой действия вращающегося тела на удерживающие его связи, как это и изложено в § 9 учебника.

Материал о центробежной силе целесообразно изучать с учащимися в 2 урока: на первом уроке пройти § 9 учебника «Третий закон Ньютона в применении к движению тел по окружности», а на втором уроке вновь рассмотреть, но уже с позиций 3-го закона, известные учащимся инерционные механизмы, определяя действующую на их связи центробежную силу.

В заключение следует выразить пожелание, чтоб в новом издании учебника физики для 9-го класса В. А. Перышкина были внесены следующие изменения:

1. Материал о примерах действия центростремительной силы (§ 8) распределить в 3-х отдельных параграфах: 1) центростремительная сила — сила действующая на тело; 2) центростремительная сила — равнодействующая сил, действующих на тело по одной прямой; 3) центростремительная сила — равнодействующая сил, действующих на тело под углом друг к другу. В качестве примеров в каждом параграфе рассматривать действия соответствующих инерционных механизмов. Описание движения автомашин по мостам различной кривизны изменить, сделав его понятным для учащихся.

2. Термины «центробежная» машина и «центробежные» механизмы заменить терминами инерционная машина и инерционные механизмы.

3. § 10 «Центробежные механизмы» заменить параграфом «Центробежная сила в инерционных механизмах».

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ УЧИТЕЛЯ

1. **П. А. Знаменский.** Методика преподавания физики. Учпедгиз, изд. 3, 1955 г.

2. **Э. Е. Эвенчик.** К изучению темы «Вращательное движение» в курсе физики средней школы. АПН РСФСР, 1952 г.

3. **А. М. Чернобытов.** Криволинейное и вращательное движение в курсе физики средней школы. Учпедгиз, 1957 г.

4. **Н. П. Третьяков.** Изучение некоторых вопросов темы «Вращательное движение» в 9-ом классе. Журн. «Физика в школе», № 4, 1950 г.

5. **В. Н. Скосырев.** Производственные экскурсии. Журн. «Физика в школе», № 2, 1950 г.

6. **Ф. Н. Красиков.** Вращательная машина и опыты с нею. Журн. «Физика в школе», № 2, 1946 г.

7. **А. С. Богословский.** Прибор к изучению темы «Вращательное движение». Журн. «Физика в школе», № 2, 1954 г.

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

Ц. М. РАБИНОВИЧ

НЕКОТОРЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ К ТЕМЕ «ДЕЙСТВИЯ СВЕТА» В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

Тема «Действия света» введена в школьный курс физики сравнительно недавно. Введения этой темы настойчиво требовала жизнь. Развитие физики в течение последних десятилетий связано с возникновением и развитием квантовой теории, опирающейся на явления взаимодействия света и вещества как на свой экспериментальный критерий. Теперь стало невозможно обходить в школьном курсе физики вопросы взаимодействия света и вещества, так как все более широкое значение в технике получили явления и процессы, возникающие при этом взаимодействии.

Однако вопросы квантовой оптики с трудом прививаются в школьном курсе физики и в первую очередь потому, что методика преподавания этих вопросов только разрабатывается. Сейчас в школьном курсе физики из всех явлений взаимодействия света с веществом рассматриваются только весьма кратко фотоэффект и люминесценция, поскольку имеется уже ряд методических разработок и рекомендаций по этим вопросам. Между тем взаимодействие света с веществом несравненно многообразнее. При распространении света в оптически неоднородных средах наблюдается явление рассеяния света, играющее значительную роль в природе. Рассеянием света объясняется голубой цвет неба и алый цвет зари. Мы наблюдаем рассеяние света на пылинках твердых веществ, взвешенных в воздухе.

Важнейшими процессами взаимодействия света с веществом являются фотохимические процессы. С. И. Вавилов на

самой заре развития квантовой оптики подчеркивал значение фотохимических процессов, которые наряду с фотоэффектом и люминесценцией подтверждают основные положения квантовой теории. Известное уравнение А. Эйнштейна, раскрывающее сущность столкновения кванта света с электроном, объясняет первичные фотохимические процессы с такой же достоверностью, как и явления фотоэффекта и люминесценции.

Фотохимические процессы широко распространены в природе.

Все более важное значение в технике имеет фотография, в основе которой также лежат фотохимические процессы. Из всего сказанного выше можно сделать вывод, что явления рассеяния света и фотохимии представляют значительный интерес. Между тем они до сих пор не нашли себе места в школьном курсе физики. Объясняется это, в частности, отсутствием разработанной специально для школьного курса методики этих вопросов, наглядных демонстраций.

Данная работа не претендует на изложение сколько-нибудь исчерпывающей методики вопросов рассеяния света и фотохимических процессов. Здесь мы приводим только некоторые демонстрации по этим вопросам. Они могут пригодиться учителю физики, пожелавшему расширить представления учащихся в области взаимодействия света и вещества. Эти демонстрации могут быть также с успехом использованы на занятиях физического кружка, на физическом вечере и т. д.

I. Демонстрация рассеяния света

Как показано было в свое время еще Френелем, оптически однородная среда не рассеивает света. Только при нарушении однородности среды наблюдается рассеяние света. Особенно ярким бывает явление, когда неоднородности среды малы по сравнению с длиной световой волны. Тогда рассеяние происходит равномерно по всем направлениям.

Наблюдение рассеяния света можно вести на следующей несложной установке (рис. 1).

Источником света служит электрическая дуга или проекционный фонарь. Можно использовать также в качестве источника света фильмоскоп. С помощью линзы получаем не очень узкий (до 5—6 см в поперечнике) пучок параллельных световых лучей.

На пути лучей на деревянной подставке помещаем стеклянную прямоугольную высокую кювету. Очень удобен для

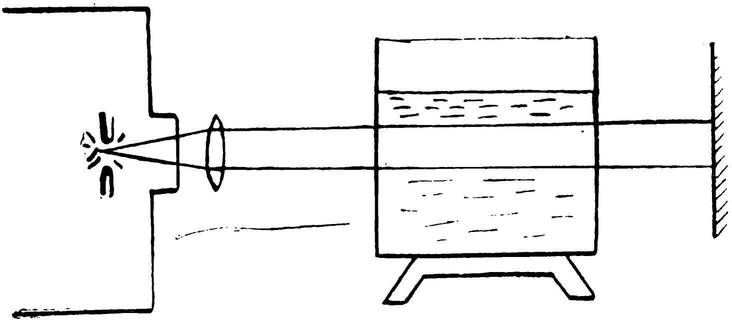


Рис. 1.

этих опытов так называемый батарейный стакан прямоугольной формы, емкостью около 1 литра. При отсутствии прямоугольной кюветы ее можно заменить обычной колбой, но это не очень желательно, так как в колбе сама форма светового пучка может искажаться.

Кювету наполняем чистой водой. Тогда свет не рассеивается в стороны. Луч проходит сквозь сосуд без заметной потери интенсивности, что можно отметить по круглому светлому пятну, которое получается на экране из белой бумаги, поставленном за кюветой на пути лучей (см. рис. 1). Если капнуть в воду каплю одеколона или несколько капель молока, наступает рассеяние света в стороны. Луч, проходящий через кювету, становится хорошо заметным для глаза, а интенсивность круглого пятна, оставляемого пучком света на экране, падает. Особенно хорошо можно наблюдать рассеяние света, если в воду добавить немного слабой серной кислоты и гипосульфита. При этом происходит химическая реакция, результатом которой является выделение коллоидных частиц серы. Эти частицы вначале очень малы. Их размеры равны 0,2—0,3 длины световой волны. Потом их размеры довольно быстро увеличиваются. Поэтому цвет рассеянного света все время меняется, и в конце концов, когда коллоидные частицы серы становятся очень большими, сера образует в растворе большое число хлопьев, и рассеяние пропадает.

Приводим наиболее эффективный состав раствора.

Вода — 800 см³.

Серная кислота 5-процентная — 10 см³.

Гипосульфит — 10 г.

Опыт проводим так. Включаем источник света. Устанавливаем кювету с водой на подставку так, чтобы луч света прохо-

дил примерно по середине кюветы. Приготавливаем заранее слабый раствор серной кислоты, налив в мензурку 1 см^3 крепкой серной кислоты и добавив воды с таким расчетом, чтобы получился 5-процентный раствор. 10 см^3 этого раствора добавляем в воду кюветы. Размешиваем раствор стеклянной палочкой. Затем начинаем добавлять гипосульфит, который тоже заранее взвешиваем и подготавливаем в пробирке или просто в бумажке.

Через 2—3 минуты после того, как мы начинаем добавлять гипосульфит, световой луч, проходящий через кювету, становится ярко окрашенным. Цвет его вначале голубой и напоминает цвет неба в ясный солнечный день. Это происходит рассеяние света коллоидными частицами серы, которые по размеру меньше длины световой волны. При этом имеет место закон Рэлея, согласно которому интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна четвертой степени длины волны. Поэтому интенсивность рассеяния резко возрастает в синей части спектра. Как известно, именно этим объясняется и голубой цвет неба. Только при этом в воздухе рассеяние света происходит не на каких-либо коллоидных или твердых частицах чужеродных для воздуха веществ. Как было показано Смолуховским и Эйнштейном, неоднородности в атмосфере образуются за счет флуктуаций плотности самого воздуха. Но рассеиваясь на этих своеобразных неоднородностях, свет создает такой же голубой цвет, как и в нашем опыте. Отсюда можно сделать важный вывод, что характер рассеяния зависит от размеров неоднородностей среды, а не от вещества, которое создает эти неоднородности.

Если дать частицам серы увеличиваться, то цвет луча, пересекающего кювету, становится все более белесым, а в конце концов жидкость мутнеет и рассеяние пропадает. Можно, однако, в любой момент времени остановить рост коллоидных частиц серы и таким образом надолго задержать красивый голубой цвет рассеянного света. Для этого достаточно в тот момент, когда полоса нам кажется наиболее красивой, добавить в раствор несколько капель раствора аммиака. Тогда дальнейшее выделение серы прекращается, и частицы перестают расти. Явление как бы застывает.

Рассеяние света на твердых мельчайших частицах, взвешенных в воздухе, иногда демонстрируют так: в колбу, закрытую пробкой, сквозь которую продета узкая стеклянная трубочка, через эту трубочку вдувается дым от папиросы. Затем маленькая трубочка закрывается пробкой. Колба устанавливается на подставку так, чтобы ее просвечивал луч све-

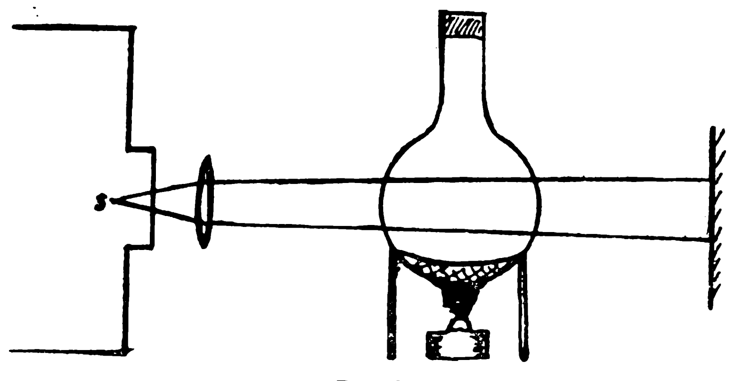


Рис. 2.

та, идущий от дуги. Рассеянный свет будет иметь здесь желтый и желтовато-серый цвет. Однако в школьной обстановке этот опыт не очень желательно показывать, поскольку он связан так или иначе с курением.

Опыт по рассеянию света частицами, взвешенными в воздухе, можно поставить и по-другому. Если в колбу бросить 1—2 кристаллика иода и маленький кусочек (с булавочную головку) сургуча, а затем эту колбу подогреть, то внутри образуется еле заметный «дым», который прекрасно рассеивает свет. Если такую колбу (из огнеупорного стекла) поставить вместе с подогревающей ее спиртовкой под свет электрической дуги (рис. 2), то мы увидим желтоватую, а потом синеватую полосу — след рассеяния света, на частичках, взвешенных в атмосфере колбы. Для удобства и безопасности опыта нужно колбу ставить на проволочную защитную сетку.

II. Демонстрация фотохимических процессов

Под действием света происходит высвечивание многих красок. В селах часто отбеливают полотно, расстилая его на траве и подвергая действию прямых солнечных лучей. Недоброкачественно прокрашенная ткань быстро обесцвечивается или, как принято говорить, «выгорает» на солнце. Все же этот процесс происходит слишком медленно для наглядной демонстрации явления. Можно очень простой демонстрацией показать процесс выцветания краски под действием света.

В двух—трех пробирках заготавливается смесь брома с толуолом. Обе эти жидкости имеются в химических кабине-

тах. Наливать жидкости, а особенно бром, в пробирки надо в вытяжном шкафу, применяя все меры предосторожности обращения с этим веществом. Лучший эффект получается при такой пропорции состава: бром — 1 см³, толуол — 5—6 см³.

Налив смесь жидкостей в 2—3 пробирки, плотно закрывают их пробками и завертывают в черную бумагу или в черные конверты от фотобумаги. В таком виде приносят пробирки в класс или на занятие физического кружка.

Хотя толуол и бесцветен, смесь толуола с бромом имеет коричневый цвет. Если осветить пробирки светом электрической дуги, начинается медленное, еле заметное глазу, выцветание. Через минут 10—20, однако, жидкость заметно светлеет. Процесс можно ускорить, если обогатить свет дуги ультрафиолетовыми лучами. Для этого необходимо, просверлив угольные электроды дрелью, вставить в них как грифели алюминиевые проволочки, соответственно подобрав их диаметр. Раскаленные пары алюминия дают свет богатый ультрафиолетовыми лучами, а под действием таких лучей фотохимический процесс выцветания происходит интенсивнее, хотя стекло пробирки и задерживает частично ультрафиолетовые лучи.

Особенно быстро и наглядно происходит процесс выцветания раствора, если вынести пробирки на солнечный свет. Здесь достаточно 1—2 минут, чтобы жидкость стала золотистой, а потом и совсем бесцветной. Эта особенность указывает на наличие красной границы фотохимического эффекта, которая лежит в ультрафиолетовой части спектра.

Во время всего этого опыта одна пробирка играет роль контрольной. Она остается до конца опыта завернутой в черную бумагу, и жидкость в ней сохраняет коричневый цвет. Таким образом создается уверенность, что наблюдаемая реакция не просто химическая, а именно фотохимическая.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Г. Плачек.** Рэлеевское рассеяние. ОНТИ УССР, 1935.
2. **Р. Вуд.** Физическая оптика. ОНТИ М., 1936.
3. **Г. Ландсберг.** Оптика. ГИТТЛ, М., 1954.
4. **М. В. Волькенштейн.** Рассеяние света. Ж. «Природа», 1948, № 10—11.

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ШКОЛ

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

Н. А. ДЕМОКРИТОВ, И. Ф. БАРАННИКОВ

ПОСТАНОВКА ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В ШКОЛАХ г. УЛЬЯНОВСКА

(по итогам 1957/58 учебного года)

Советская школа сейчас переживает период серьезной перестройки, целью которой является решение задачи практической подготовки учащихся к активному участию в трудовой деятельности общества.

За период, прошедший между XX и XXI съездами партии, проделана значительная работа по политехнизации школ. Работа велась по следующим направлениям.

1) В учебном плане школы увеличено число уроков по дисциплинам, так или иначе связанным с техникой, с сельскохозяйственным производством (физика, химия, биология, математика, черчение); в преподавании этих предметов усилена связь теории с практикой, и в этом направлении переработаны некоторые учебники.

2) В учебный план введены новые учебные предметы технического характера: труд в мастерских (5—7 кл.), основы машиноведения (8—9 кл.), автотракторное дело (9—10 кл.) и электротехника (10 кл.).

Если в преподавании дисциплин общеобразовательного цикла накоплен школами большой опыт и существует обширная методическая литература, то этого нельзя сказать о вновь введенных технических дисциплинах. Здесь мы имеем еще не установившуюся программу, отсутствие специальных учебников для учащихся и бедность методической литературы для учителя. Тем не менее, дисциплины технического цикла преподаются в школах уже несколько лет, накапливается некоторый опыт и предпринимаются отдельные попытки его обобщения.

В 1957/58 уч. году во всех средних школах г. Ульяновска, за исключением шк. № 2, имелись мастерские. Мастерские есть и в некоторых 7-летних школах (шк. № 17, 24, 28, 29). Мастерские оборудованы, главным образом за счет шефствующих предприятий. Сравнительно лучше других оборудованы мастерские в школах №№ 1, 5, 6, 16, 20, 33, 44, 41. В школах №№ 11, 14, 15, 42 — оборудование мастерских плохое.

Во всех мастерских оборудование не соответствует табелю и перечню, установленному Министерством просвещения. Неудовлетворительно обстоит дело с материалами для работы учащихся; дерево и железо «добывается» случайно, главным образом у шефствующих предприятий.

В 1957/58 учебном году по новому учебному плану в городе работали школы №№ 1, 5, 16, 33, 40, 41. На базе автозавода, ЗМД, завода «Контактор» и мастерских механического техникума учащиеся овладевали основами производства и приобретали технические специальности. Из учащихся 10-х классов получили рабочие разряды токаря, слесаря, фрезеровщика в 5 СШ — 33 ученика, в школе № 40—27 учеников, в 11 СШ — 21, в 33 СШ — 16, в 41 СШ — 24 ученика. Этой подготовке способствовала факультативная и кружковая работа учащихся внутри школы.

Уроки труда и машиноведения проводились в школах в соответствии с программой Министерства просвещения. Учащиеся приобретали навыки работы со столярным и слесарным инструментом, овладевали практикой работы на станках по обработке дерева и металла. Труд учащихся в основном был целесообразным, производительным, о чем свидетельствовала техническая выставка в марте 1958 г. На ней были представлены ценные экспонаты действующих моделей и станков (школы №№ 40, 41, 3, 24), хорошо выполненные стенды по электротехнике и автоделу (школы №№ 38, 5, 1, 25, 33), столярные и слесарные изделия (школы №№ 17, 15, 28, 24, 42 и др.).

Полному осуществлению учебной программы по труду и машиноведению препятствует отсутствие в мастерских современных станков, инструмента и сырья.

Учителя труда в основном соответствуют своему назначению, но все они не имеют специального производственно-педагогического образования. Большинство из них рабочие (столяры, слесари и т. д.) с большим стажем работы, есть отдельные преподаватели с педагогическим образованием.

Ряд учителей по труду дают хорошие результаты работы, к ним относятся в 1 школе Солдатов и Гранский, в 15 школе

— Погорелов, в 17 школе — Мордовкин, в 20 школе — Богданов, в 40 школе — Сергиенко, Бразовский, Лакаев, в 33 школе — Салтурин, в 41 — Лапшов.

Из школ гор. Ульяновска (и области) лучшие материальные возможности для преподавания технических дисциплин на должном научном и методическом уровне имеет СШ № 1 им. В. И. Ленина, поэтому преподавание в этой школе и сопоставление постановки его в других школах города не только имеет теоретическую, познавательную, но и практическую ценность, особенно для учителей, преподающих в школах эти дисциплины. Поэтому на опыте работы СШ № 1 мы будем останавливаться подробнее.

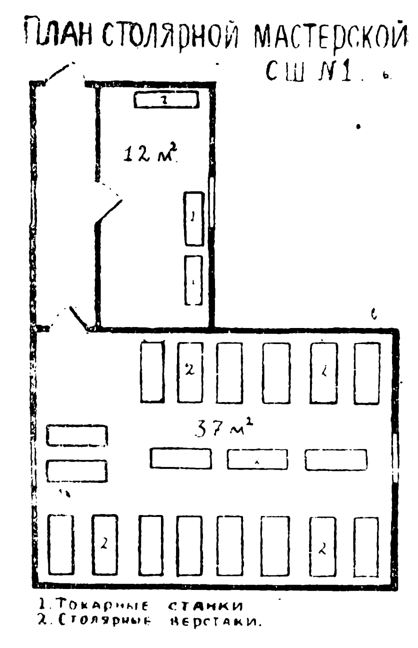


Рис. 1.

Занятия по труду в столярной и слесарной мастерских СШ № 1 проводит учитель Владимир Иванович Солдатов, человек с широким кругозором и большим образованием. Он имеет высшее педагогическое, техническое и медицинское образование. Солдатов в прошлом работал учителем физики, был завучем, директором, работал врачом, три года назад начал организовывать в СШ № 1 учебные мастерские и с тех пор с увлечением в них работает.

Несмотря на пожилой возраст, он бодр, энергичен, страстный любитель автомашины. Работая в школе, со временем не считается, много хлопочет по снабжению мастерских оборудованием и материалами. Следит за методической литературой, читает журналы «Физика в школе», «Политехническое обучение». В порядке взаимного посещения часто бывает на уроках автомобильного дела, машиноведения, физики, электротехники и на заседаниях школьного методического объединения всегда активен.

Владимир Иванович обладает хорошей, культурной речью, что в соединении с его преданным отношением к делу

очень ценно в смысле воспитательного влияния на учащихся. Столярная мастерская в СШ № 1 расположена на третьем этаже и занимает общую площадь в 57 м². Состоит она из 2-х кабинетов: столярного, размером 7×7 м² и станочного — 2×4 м² (рис. 1). Кроме этих двух кабинетов к мастерской принадлежит небольшая прихожая и коридор, ведущий в чердачное помещение. Прихожая и коридор частично используются для хранения материалов. Главное помещение мастерской, где расставлены столярные верстаки, имеет 2 окна, расположенные одно на восток, другое — на запад. Столярные верстаки расположены вдоль стен, причем они могут соединяться досками-скамьями. В станочном отделении — одно окно на восток, но света в мастерской достаточно. Мастерская отапливается центральным водяным отоплением, в ее помещениях иногда, по замечанию учителя, бывает даже жарко. Следует отметить как недостаток то, что в столярную мастерскую не проведен звонок, а звонка на третьем этаже не слышно. За длительностью занятий и перерывов учитель следит по своим часам, и иногда, увлекшись работой, отпускает учащихся с запозданием. Помещение столярной мастерской все же тесное. Желательно иметь под нее площадь примерно в два раза большую.

В 1957/58 г. столярная мастерская СШ № 1 имела следующее оборудование:

1.	Столярные верстаки (ученического типа)	20 шт.
2.	Токарные станки по дереву	4 «
3.	Рубанки двойные (шлифтики)	20 «
4.	Рубанки одинарные	20 «
5.	Шерхебели	10 «
6.	Полуфуганки	11 «
7.	Стамески	15 «
8.	Коловороты	10 «
9.	Перки	30 «
10.	Буравы разные	30 «
11.	Молотки металлические	20 «
12.	Рейсмусы	20 «
13.	Угольники деревянные	20 «
14.	Рашпили по дереву	5 «
15.	Напильники драчевые	10 «
16.	Токарные резцы разные	12 «
17.	Топоры ученические	12 «
18.	Клещи	10 «
19.	Лучковые пилы	5 «
20.	Садовые ножовки	10 «

Этого оборудования для школьной столярной мастерской недостаточно. Прежде всего мало токарных (по дереву) станков. Их необходимо приобрести еще минимум 4. Нужно иметь сверлильный станок и должна быть хотя бы одна электрическая дрель.

В мастерской нет фигурных рубанков (калевки, фальцовки, шпунтгебеля) и нет совсем наглядных пособий: таблиц и альбомов примерных чертежей изделий для учащихся. Материалами столярная мастерская обеспечивается главным образом с завода «Контактор». Шефы отпускают школе хороший деловой материал, но иногда сырой, требующий длительной просушки. Сухой материал, отходы производства, бруски сечением 50 мм × 60 мм отпускает школе автомобильный завод. В качестве методического руководства учитель пользуется книгой Дубова «Практические занятия в учебных мастерских 5—7 классов». 1957 год, АПН.

Учебный материал по труду в столярной мастерской всех школ города планируется во времени по тем же формам, по которым планируются и все школьные предметы. Обычно учебный материал распределяется по отдельным урокам. Содержание уроков детально развивается в поурочных планах, представление о которых можно составить из следующего примера:

«7 сентября 1957 г. Тема: изготовление ручки для молотка. 5 **«в» класс.** СШ № 1. Цель урока: Ознакомление с приемами продольного и поперечного пиления.

1. В пятиминутной вступительной беседе напоминаю учащимся, что цель практических занятий в столярной мастерской школы состоит в том, чтобы они научились обрабатывать основной материал — дерево, а это нужно для того, чтобы научиться владеть ручными инструментами, так как только ими производится наладка, а часто и ремонт машин и механизмов.

2. Путем опроса припоминаются сведения о правилах поведения и правилах техники безопасности во время работы.

3. Объясняю ребятам, что на этом уроке мы будем изготовлять ручку для молотка по данному образцу (показываю). Выполняя работу, необходимо научиться пилить вдоль и поперек волокон.

У каждого учащегося на верстаке имеется заготовка.

Ребята говорят, что из этой заготовки выйдет четыре ручки, если её распилить пополам и вдоль и поперёк.

Соглашаясь с ними, объясняю, что для пиления вдоль волокон применяется пила продольная, а для пиления попёрек

— поперечная. Показываю обе пилы и путем сравнения объясняю их устройство и устройство их зубьев.

Когда учащиеся освоят устройство зубьев поперечной и продольной пил, приступаю к объяснению устройства и назначения верстака.

Чтобы распилить заготовку, особенно вдоль, её надо зажать в верстак. Показываю, как это сделать. и предлагаю всем зажать свою заготовку.

После этого беру продольную пилу и показываю, как надо стоять и держать пилу и корпус во время работы и начинаю пилить. Учащиеся следят за мной и моей работой.

Предупреждаю, что во время работы надо все время следить за тем, чтобы пила шла по черте, не сваливать её ни вправо ни влево, как в том и другом случае она будет с трудом продвигаться по пропилу так же, как и в случае, если пилу будем отклонять в ту или иную сторону. Показываю это примерами. Указываю, что для того, чтобы меньше уставать во время пиления, надо пилить в такт работы сердца.

После этого учащиеся получают разрешение приступать к работе. Во время их работы все время слежу за ними и помогаю тем, кто в этом нуждается, поправляю тех, кто работает неправильно.

По окончании продольного пиления показываю и объясняю, как нужно пилить поперек волокон. Объяснение веду тем же порядком.

В результате у каждого ученика получится по четыре заготовки-детали, которые подписываются и складываются в кладовку до следующего урока и обработки.

Верстаки очищаются, инструмент кладётся в опрёделенном порядке на верстаки, и урок заканчивается беседой о том, что школьники узнали на уроке и чему научились».

План урока приведен без изменений с подлинника. Может быть, кое-кому кажется лишним писать такой подробный план, но несомненно, что этот план помогает учителю четко и организованно проводить урок, поскольку он продуман в деталях. Такими действительно являются уроки Владимира Ивановича Солдатова. Каждый ученик имеет своё рабочее место и конкретное задание. Все ребята работают с увлечением. Опишем урок, проведенный 17 марта 1958 г. в 5 «в» классе.

В этот день урок труда в 5 «в» классе — первый. До начала урока еще 10 минут, учитель в мастерской, сходятся и учащиеся. Приходя, они берут свои неоконченные изделия (скворечники) и начинают работать.

Время 8 ч. 15 мин. — начало урока. Все ученики в мастерской: 9 мальчиков и 5 девочек. По распоряжению учителя ученики прекращают работу и садятся на доски-скамейки около своих верстаков. Обращаясь к учащимся, учитель говорит, что этот урок труда в 3 четверти последний, и после уроков он будет выставлять оценки за четверть, а некоторых учащихся еще следует спросить по теории. Урок начинается с опроса учащихся.

Учитель: Из каких частей состоит рубанок?

Ученик: Рубанок состоит из железки, колодки, клинышка и ручки. Железка и клинышек подвижные.

Учитель: Из чего состоит рейсмус?

Ученик: Рейсмус — это разметочный инструмент, он состоит из колодки и двух реек с гвоздиками.

Учитель: Какой инструмент угольник?

Ученик: Угольник—проверочный инструмент.

Учитель: Что проверяют угольником?

Ученик: Угольником проверяют прямые ли углы, ровные ли стороны.

Учитель (поправляет): Угольником проверяют правильность обстрагивания поверхности и т. п.

По окончании опроса учитель распределяет задания между учащимися. Кто не закончил изготовление скворечен — продолжает работать над ними. Часть учащихся получает задания — готовить панели для занятий 10-классников по электротехнике. Трое мальчиков получили задание отстрогать поверхность половой доски (участки распределяются).

Работа идет дружно, ученики стараются, иногда обращаются к учителю за советом и помощью. Вот у мальчика не строгает рубанок, он намерен подколотить железку и обращается к учителю за молотком. Происходит разговор:

Учитель: Зачем он тебе?

Ученик: Не строгает рубанок.

Учитель: Не может быть! — Берет из рук мальчика рубанок и строгает им, объясняя ученику, как им пользоваться.

У девочки слетает доска с верстака. Учитель подходит и показывает, как её закрепить.

Ученица строгает встречь слоя, результат плохой, она жалуется учителю. Учитель показывает, как исправить ошибку. Девочка довольна.

Ученица неровно обрезала крышку для скворечника, смущенно показывает учителю. Он дает ей рашпиль и показывает, как надо выровнить неровный край. Девочка начинает старательно это делать.

Мальчики отстрогали одну сторону доски и просят учителя посмотреть. Владимир Иванович осматривает и разрешает перевернуть её на другую сторону.

Следует заметить, что не все ученики, встретив затруднение, обращаются к учителю за помощью. Некоторые довольно настойчиво стремятся справиться с ним сами. Вот один из таких примеров: у мальчика сильно задирал полуфуганок, он сменил его на другой. Оказалось, что и этот задирает. Мальчик вынул железку и стал её устанавливать. Возился долго, настойчиво и установил правильно. Довольный, стал продолжать фугование. И так весь урок.

Учитель объявляет конец урока. Ребята сдают законченные работы учителю и, приведя в порядок своё рабочее место, уходят. В мастерской остается лишь ученик-дежурный. Еще раз осмотрев рабочие места и инструмент, учитель разрешает уйти и ему.

Учебная мастерская по механической обработке металлов в средней школе № 1 г. Ульяновска расположена в отдельном классе на 1-м этаже.

Мастерская имеет следующее оборудование:

1. 6 школьных настольных токарных станков.
2. 2 промышленных токарных станка.
3. Поперечно-строгальный станок.
4. Точило.
5. Один из промышленных токарных станков используется как токарный станок по дереву.

В мастерской имеется классная доска, два больших шкафа для хранения инструмента и материалов. В основном оборудование расположено правильно. Между станками имеются проходы требуемой величины. Неудачно расположен поперечно-строгальный станок. Более удачным было бы его расположение, если повернуть его на 180° и поставить ближе к стене. (Рис. 2).

1 — точило;

2 — поперечно-строгальный станок;

3 — промышленный токарный станок (используется для работ по дереву);

4 — промышленный токарный станок;

5 — школьные токарные станки;

6 — шкафы для хранения материалов, инструмента, готовых изделий и полуфабрикатов;

7 — стенд с изделиями учащихся;

8 — классная доска;

9 — умывальник;

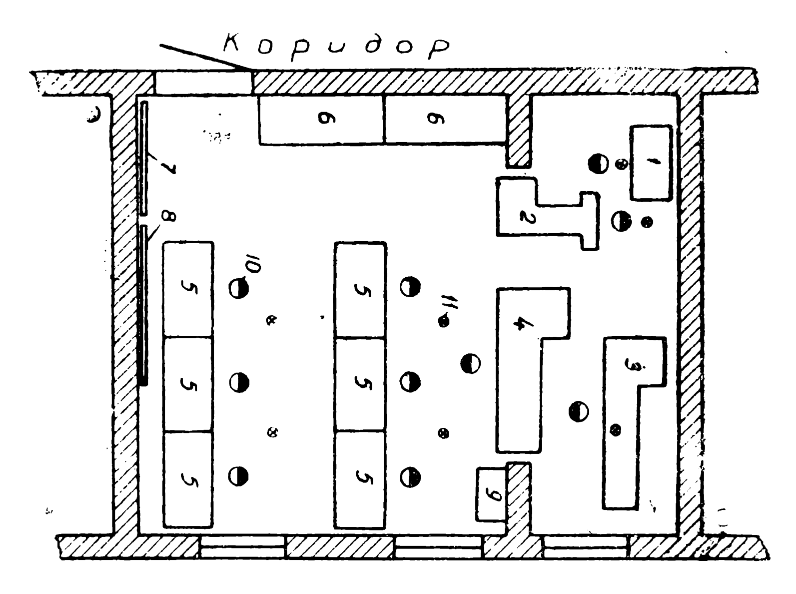


Рис. 2.

10 — места учащихся во время работы;
11 — источники света.

Освещение в мастерской в дневное время естественное и достаточное. Для работы в вечернее время имеется и искусственное освещение. Однако электрические лампочки расположены неудачно. Почти на всех рабочих местах свет падает со спины работающих, что сильно затрудняет работу.

В мастерской отсутствуют наглядные пособия. Желательно было бы иметь плакаты, показывающие приемы работы на станках, применение тех или иных металлообрабатывающих инструментов, характеристики этих инструментов и т. п., которыми учащиеся могли бы пользоваться в процессе работы. Нет наглядных пособий и по технике безопасности.

Перед началом работы учащимся выдаются чертежи изготовляемых изделий с краткими указаниями о порядке выполнения работы.

Иногда учитель делает чертежи на доске, а о порядке выполнения работы дает устные указания. Так делается при изготовлении сложных изделий, когда учащимся трудно, пользуясь инструкционной картой, составить полное представление об изделии и о порядке изготовления его.

Мастерская имеет достаточную площадь для того оборудования, которое сейчас имеется. Но оборудования недостаточно. Сейчас на станках работает по два ученика. Необходимо увеличить количество токарных станков. В мастерской желательно иметь хотя бы один фрезерный станок небольших размеров. Надо пускать в действие строгальный станок. Надо иметь в мастерской вертикально-сверлильный станок.

Токарный станок, используемый для работ по дереву, надо или убрать из мастерской и поставить его в столярной мастерской, или же использовать его для работ по металлу.

В связи с разницей в росте учащихся необходимо иметь около станков регулируемые подставки под ноги для того, чтобы учащийся любого роста занимал правильное положение у станка.

Слесарная мастерская расположена рядом с мастерской по механической обработке металлов. Это удобно при выполнении смешанных токарно-слесарных и т. п. работ по металлу. С этой точки зрения неудачно расположены столярная мастерская — на 3-м этаже, в то время как слесарная и механическая мастерские — на первом.

В случае приобретения нового оборудования (а потребность в этом большая), площадь мастерской надо увеличить.

Желательно было бы иметь в мастерской промышленный токарно-винторезный станок более совершенной конструкции чем те, которые сейчас имеются в мастерской. Поперечно-строгальный станок, имеющийся в мастерской, также очень старой конструкции с громоздкими ременными передачами. Материалами и инструментом мастерская обеспечена хорошо. Большую помощь здесь оказывают заводы города, в частности завод «Контактор».

Примерно такое же положение с оборудованием мастерских и в ряде других школах города.

Например, в школе № 3 механическая мастерская имеет следующее оборудование:

1) 3 токарных станка промышленного типа;

2) 1 поперечно-строгальный станок;

3) 1 горизонтально-фрезерный станок;

4) 1 точило.

И в этой школе помещение, отведенное под мастерскую, имеет недостаточную площадь. Нет в достаточном количестве инструмента и материалов. Лучше оборудована механическая мастерская в школе № 33, имеющая 11 токарных станков школьного типа, один настольный сверлильный станок,

один сверлильный станок промышленного типа, токарный и фрезерный станки промышленного типа и два наждака.

Почти во всех школах за одним станком работают 2—3 ученика. Это снижает качество обучения и ухудшает возможность использования времени, отводимого ученикам на работу в мастерских.

В большинстве случаев мастерские оборудованы старыми станками, которые характеризуются сильной изношенностью и несовершенством конструкции. Овладев приемами работы на таком оборудовании, ученики встретят затруднения при работе на современных станках во время производственной практики.

Лучше обстоит дело со слесарными мастерскими, во всех изученных школах (№ 40, 3, 1, 33, школа-интернат № 16) имеется достаточное количество рабочих мест в слесарных мастерских. Здесь надо отметить только недостаточность площади, отводимой под эти мастерские. Нормы, предусмотренные техникой безопасности, в большинстве случаев не выдерживаются. Достаточность рабочих мест обеспечивается за счет более тесного расположения их. Величина проходов также недостаточна. Световые точки располагаются неудачно.

Во всех изученных школах ощущается недостаток в инструментах и материалах. Нет организованного снабжения ни инструментом, ни материалами. Изделия учащихся часто не могут найти практического применения не только из-за того, что ученики не могут качественно выполнить задание, но из-за отсутствия инструмента, и часто из-за несоответствия используемого материала, конструкции изделия.

Все учителя по труду подбирают в качестве заданий ученикам изделия, которые затем используются или непосредственно в мастерской, или идут на оборудование и ремонт школ. Недостатком является то, что во многих школах эти задания не меняются в течение ряда лет. Это привело к накоплению в школе однотипных изделий, потерявших практическую ценность.

Посещение уроков труда в ряде школ города позволяет сделать следующие выводы о форме проведения уроков учителями труда. В настоящее время почти все учителя труда организуют урок по следующей форме.

В начале урока учитель дает объяснение по заданию на данный урок. Здесь учитель объясняет порядок выполнения работы, предупреждает об ошибках, которые возможны при выполнении данной работы и т. п. Производится опрос учени-

ков по материалу урока. Затем ученики приступают к работе, а учитель ходит по рабочим местам, дает необходимые указания и проводит дополнительный инструктаж учеников (если есть в этом необходимость). В конце урока учитель объявляет конец работы. Ученики приступают к уборке рабочих мест и сдаче их учителю. Затем учитель подводит итог сделанной работы, объявляет оценки за урок и дает задания на следующий урок.

В некоторых школах весь инструмент хранится на рабочем месте учителя, и ученики получают его сами или через дежурного ученика. В других школах весь наиболее ходовой инструмент хранится на рабочих местах учеников. Такая организация хранения инструмента не заставляет ученика тратить время на получение инструмента. Перед началом работы ученикам выдаются инструкционные карты, в которых приводится эскиз изделия и кратко указывается порядок выполнения работы. Иногда эскиз делается на доске, а порядок выполнения работы объясняется устно. Практикуется также и выполнение работы учениками по образцам и шаблонам. При изготовлении простых изделий учитель объясняет только условное назначение изделия, а эскиз делают сами ученики. Сочетание таких методов обучения является наиболее удачным.

В большинстве школ ученики получают необходимые знания и навыки по обработке металлов на станках и с помощью ручного слесарного инструмента. Надо только стараться подбирать в качестве заданий такие изделия, чтобы ученики видели практическое применение плодов своего труда. В качестве недостатка ученических изделий надо отметить еще плохую отделку их. Геометрия изделий соответствует чертежу или образцу, а качество поверхностей изделий плохое.

Большое значение в политехнической подготовке учащихся имеет производственная практика. В школах, работающих по новому учебному плану, она проводится на различных заводах города. Так, производственная практика учеников 9-х классов 1 СШ проходила на заводе низковольтной электроаппаратуры «Контактор» в течение всего учебного года. Еженедельно каждый ученик отрабатывает на заводе один день — 3 часа; кроме этого, в июне была организована непрерывная практика учащихся, когда они работали на заводе по 6 часов в день ежедневно.

Первые две четверти учащиеся занимаются по обязательной программе, Следуя ей, они должны познакомиться с производством в следующих цехах: 1) литейном, 2) электрическом, 3) гальваническом, 4) сборочном, 5) прессовочном,

6) штамповочном, 7) кузнечном, 8) термическом, 9) механическом.

В литейном цехе учащиеся знакомятся с плавкой металлов токами высокой частоты, с плавкой в электродуговой печи, с формовкой, разливкой расплавленного металла, выбивкой форм и т. п. В электрическом цехе учащиеся изучают процесс намотки катушек. С технологией и видами металлических покрытий гальваническим способом учащиеся знакомятся в гальваническом цехе.

В сборочном цехе учащиеся изучают продукцию завода, знакомятся с принципами сборки, с видами сочленений деталей, со способами их сочленения и т. п. В прессовом цехе они знакомятся с процессами изготовления пластмассовых деталей и т. п. В прессовом цехе они знакомятся с процессами изготовления пластмассовых деталей. С холодной штамповкой учащиеся знакомятся в штамповочном цехе. Представление о технологии ковки металлов, оборудовании, применяемом при этом, учащиеся получают в кузнечном цехе.

В термическом цехе учащиеся знакомятся с видами термообработки, с технологией нагрева, и охлаждения деталей. Здесь же они знакомятся с оборудованием, необходимым для термообработки металлов (соляной печью, воздушной печью, установкой, в которой нагрев деталей осуществляется токами высокой частоты). В этом цехе они изучают способ проверки качества термообработки путем испытания на твердость.

В механическом цехе учащиеся изучают способы механической обработки металлов — точение, фрезерование, строгание, шлифование и т. п. Здесь они знакомятся с токарными, токарно-винторезными, токарно-револьверными, фрезерными, строгальными, шлифовальными и др. станками. Они изучают виды работ, которые можно выполнять на том или ином оборудовании, знакомятся с обслуживанием и настройкой станков.

Во время практики, работники завода читают для учащихся ряд лекций об организации производства, энергетическом хозяйстве, о передовых методах труда и т. п. Школьники не ограничиваются изучением производственных процессов и оборудования. Они сами участвуют в производстве, сами выполняют процессы по изготовлению несложных деталей. Работают учащиеся под наблюдением опытных рабочих и к концу практики могут выполнять самостоятельно основные виды работ.

Во втором полугодии учащиеся сами выбирают цех, в котором совершенствуются по той или иной специальности.

Большинство учащихся избрали цех механической обработки металлов, где они приобрели специальность токаря, фрезеровщика и т. п. Многим учащимся после такой практики присвоили специальной комиссией квалификационный разряд — третий и даже четвертый. Значительно помогли учащимся факультативные занятия по повышению квалификации, которые проводит начальник механического цеха.

Примерно таким же образом организуется практика и в других школах.

Для дальнейшего улучшения преподавания технических дисциплин в школе необходимо наладить снабжение мастерских материалами и инструментом и организовать подготовку и переподготовку преподавательского состава.

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

Ц. М. РАБИНОВИЧ, И. С. ФРОЛОВ, Н. И. ВЫГАНОВСКИЙ, П. Г. ГЛИКСМАН

НЕКОТОРЫЕ НЕДОСТАТКИ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ В ШКОЛАХ г. УЛЬЯНОВСКА

В течение ряда лет преподаватели кафедры физики Ульяновского педагогического института принимали участие в работе экзаменационных комиссий и имели возможность знакомиться с знаниями по физике выпускников школ г. Ульяновска. В 1957/58 учебном году работники кафедры специально изучали постановку преподавания физики в ряде городских школ. С целью анализа знаний учащихся были проведены контрольные работы во многих 8-х, 9-х и 10-х классах. Устные ответы учащихся анализировались при посещении уроков и на экзаменах на аттестат зрелости.

Вывод, который можно сделать на основании всей проделанной работы, говорит о том, что преподавание физики в школах города несколько улучшилось. Значительную роль в этом сыграла перестройка преподавания физики на основе политехнизации школы. Производственная практика учащихся на предприятиях, зачастую возглавляемая преподавателями физики, не может не играть благотворной роли в преподавании физики, так как живая, конкретная связь с производством углубляет знания учащихся по физике, повышает практическую ценность этих знаний. Связь с производством и активное участие в этой работе учителя физики сказывается плодотворно на росте и повышении деловой квалификации самого учителя физики.

Опыт показывает, что тот учитель физики, который знает современное производство, лучше, глубже и конкретнее знакомит учащихся с применением физики на практике, а в этом

как известно, заключается один из важнейших элементов политехнической подготовки учащихся в школе.

На уроках физики в настоящее время, не в пример прежним годам, можно услышать ответы учащихся, указывающие на то, что работа по политехнической перестройке преподавания физики дает свои первые плоды.

Многие учащиеся на уроках физики и во время экзаменов на аттестат зрелости продемонстрировали понимание принципов устройства, и действия электромоторов, генераторов тока, трансформаторов, выпрямителей, электронной лампы, химических источников тока, тепловых двигателей, тепловых и электрических измерительных приборов и т. п.

Нам довелось наблюдать улучшение знаний учащихся по физике в этой части в школах №№ 1, 33, 40, т. е. в первую очередь в школах, где связь с производством была теснее, где лучше была поставлена производственная практика. Но задача преподавания физики заключается не только в том, чтобы впитывать все то положительное, что может дать физике знание производства. От преподавателя физики требуется улучшить обучение учащихся основам науки, вооружить своих питомцев такими знаниями физики, которые не были бы мертвым грузом, а могли бы ими быть использованы на этом же производстве по окончании школы. Задача заключается, на наш взгляд, в том, чтобы выпускник средней школы, придя по окончании школы на производство, мог овладеть специальностью и, работая, двигать это производство вперед. Для этого он должен не только знать принцип работы генераторов машин, механизмов и т. п., но и владеть техникой простого физического расчета работы этих машин, генераторов, механизмов и т. п. Тогда он сумеет быстро овладеть необходимым ему в работе техническим расчетом. Если мы будем выпускать из средней школы людей, знающих, скажем, устройство электромотора и других машин и механизмов, но не знающих единиц мощности и работы, напряжения, величины тока, не умеющих решить простую задачу на вычисление работы, мощности, коэффициента полезного действия машины или механизма, не умеющих сделать расчет сопротивления подводящих к этой машине проводов, мы не выполним своей задачи по подготовке школьников к практической жизни на уровне современных требований.

Анализ знаний учащихся по физике показывает, что именно в этом направлении имеется ряд недостатков.

Учащиеся, с одной стороны, несколько лучше чем в прошлые годы, знают основные физические законы и явления, и,

конечно, не в пример лучше, чем прежде, знакомы с производством. Но в их знаниях часто не хватает важнейшего звена, которое связывает эти две стороны физических знаний. Они слабо владеют техникой простых физических расчетов, часто не умеют применять физические законы для анализа и решения конкретных задач. Это свидетельствует о том, что формализм в преподавании физики далеко не изжит. Это мы считаем главным недостатком в знаниях учащихся по физике и он свойственен в большей или меньшей степени всем обследованным нами школам.

Вместе с тем, необходимо отметить, что в ряде случаев, в том числе во время экзаменов на аттестат зрелости, выявляется вопиющее незнание отдельными учащимися основного программного материала, важнейших физических законов и. т. п. Как правило, оно имеет место там, где учитель физики не стоит на должной высоте, т. е. там, где он предъявляет мало требований к себе и учащимся, где он мало работает над повышением уровня своих знаний, своей научной и методической квалификации и где он пытается прикрыть следы своей слабой работы явным либеральным подходом к оценке знаний учащихся.

Только таким либеральным подходом можно объяснить то, что некоторые учащиеся (например школа № 3; 33 и др.) приходят к экзаменам на аттестат зрелости с весьма слабыми знаниями по физике.

Перейдем к конкретному анализу знаний учащихся по физике в школах г. Ульяновска, проведенному на основе посещения уроков, экзаменов и ряда специальных контрольных работ.

ВОСЬМЫЕ КЛАССЫ

В ряде восьмых классов городских школ проводились контрольные работы, причем из всей программы 8 классов преимущественно задавались вопросы на темы: равномерное и равнопеременное движение, сложение движений, первый закон Ньютона, сложение сил, трение.

Вот содержание некоторых контрольных заданий из числа 14 вариантов, которые давались учащимся.

Задание 1

Построить и объяснить график пути и скорости равномерного движения.

Решить задачу: Автомобиль, двигаясь от остановки равноускоренно, пройдя некоторое расстояние, достиг скорости 20 м/сек. Какова была скорость на половине этого расстояния?

Задание 2

Рассказать о сложении и разложении скоростей.

Решить задачу: Пуля вылетает из ствола ружья со скоростью 800 м/сек. Длина ствола 64 см. Предполагая движение пули внутри ствола равноускоренным, определить ускорение и время движения в стволе.

Задание 8

Сформулировать первый закон Ньютона и рассказать о его значении в природе и технике.

Решить задачу: Стрела пущена вертикально вверх с начальной скоростью 40 м/сек. Через сколько секунд она упадет обратно на землю? Для упрощения расчетов принять ускорение земного притяжения равным 10 м/сек^2.

Задание 9

Рассказать о движении тела, брошенного вертикально вверх.

Решить задачу: В спокойном воздухе парашютист падает со скоростью 5 м/сек. С какой скоростью будет двигаться парашютист, если при падении его относит ветер в горизонтальном направлении со скоростью 4 м/сек?

Задание 10

Построить графики скорости и пути равноускоренного движения.

Решить задачу: Коэффициент трения полозьев салазок по твердому снегу равен 0,05. Какого веса санки может тащить ребенок, если будет тащить их с силой 2 кг?

Задание 11

Значение трения в природе и технике.

Решить задачу: Автомобиль при ускорении равном 0,5 м/сек.^{2} останавливается через 40 секунд после начала торможения. Определить скорость, которую имел автомобиль в

момент начала торможения и путь, пройденный им за время торможения.

Как видно из приведенных примеров, задания не выходили за пределы программы 8-го класса и не могут считаться трудными. Тем не менее результаты этой контрольной работы оказались явно неудовлетворительными. Оценки, полученные учащимися и не опротестованные учителями, могут быть представлены в виде следующей таблицы.

	Школа №	Школа №№		
	8 кл. „А"	8 кл. „А"	8 кл. „Б"	8 кл. „В"
Оценка „5"	1 ученик	1 ученик	—	1 ученик
Оценка „4"	2 —„—	0 —"—	4 уч-ка	2 —„—
Оценка „3"	6 —„—	7 —„—	9 —„—	6 —„—
Оценка „2"	24 —„—	8 —„—	6 —„—	4 —"—
Оценка „1"	2 —„—	3 —„—	2 —"—	10 —"—

То, что из 98 учащихся, писавших эту контрольную работу, только 3 получили оценку «5», 8 — оценку «4», и 30 — оценку «3» вызывает серьезную тревогу.

Наиболее характерными недостатками в знаниях учащихся 8 классов являются следующие:

1. Неумение графически изображать физические закономерности. Графики порой приводятся безымянные, т. е. без указаний, какие величины откладываются на осях координат. Иногда чертят график правильно, но неверно его объясняют.

2. Неумение разобраться в точках приложения сил и на практических примерах указать действующие силы.

Так, например, ученик А. пишет: «по горизонтальной плоскости на человека действует одна сила, сила ног, вверх по наклонной плоскости против силы ног действует скатывающая сила».

Можно указать на целый ряд искажений и неверных представлений, высказанных учащимися в своих ответах на контрольные задания.

Например, ученик П. пишет: «При движении вверх ускорение берется в два раза меньше, $q=5$ м/сек^2.

Ученица Х. о значении трения в технике только и сказала, что «оно бывает вредным», но не сумела привести ни одного

конкретного примера ни вредного, ни, тем более полезного трения. Не рассказала о том, как в технике борются с вредным трением. А ведь по существу вопроса ей следовало именно об этом рассказать.

В восьмых классах закрепляется правило размерностей, без знания которого невозможно решать задачи да и просто понимать физические законы. Тем не менее во многих случаях учащиеся допускают крайнюю небрежность в обращении с размерностями. В этом также состоит один из основных недостатков знаний учащихся.

Ученик К., определяя коэффициент трения, пишет: $K = \frac{40\ кг}{20\ кг} = 2$ кг. Далее. он же написал: $K = 2.15 = 30$ кГ.

Ученица А. написала: $h = 14{,}7$ м/сек. $9{,}8$ м/сек. $= 144{,}06$ м/сек.

Ученица С. пишет $V = \frac{400\ м}{0{,}5} = 8$м/сек.

В ряде случаев ученики путаются в написании простейших формул. Так, ученик Б. пишет:

$$V_0 = \frac{t}{a};\ t = \frac{v}{c};\ v_0 = tS.$$

Из множества физических, грамматических и орфографических ошибок приведем еще несколько. Ученик 8 кл. Т. пишет: «Чтобы сложить две силы, направленные в одну сторону, нужно сложить их». Ученица К. (8 кл.), говоря о сложении сил, написала: «Замена двух сил одной силой можно рассмотреть так. Две стороны параллелограмма, направленные под углом друг к другу, то эти две силы мы сможем заменить одной. Общая сила будет служить диагональю построенного нами параллелограмма». Ученик К. о сложении сил писал: «В большинстве случаев встречается в природе, когда на тело действует несколько сил. Несколько сил, которые действуют на тело мы...». Ученица Т. об уравновешивающей силе написала: «Уравновешивающая сила — это такая сила, алгебраическая сумма моментов которой равна нулю или эти силы равны между собой».

Трудно найти из нескольких десятков хотя бы одну работу без литературных и физических ошибок. Ученица Т. вместо инерция пишет «энерция». Вот ее слова: «В технике энерция применяется в других случаях: для изготовления валов. При выключении вентилятора. Машина идет по энерции с выключенным мотором».

Общие недостатки в знаниях учащихся 8-х классов по физике по данным контрольных работ и устных бесед:

Учащиеся плохо решают задачи по механике, план решения задач не составляется. В общем виде задачи не решаются. Примсняемые формулы не умеют объяснить. Многие не понимают смысла явлений и формул, выражающих законы этих явлений. В преобразованиях формул и вычислениях допускаются грубые ошибки. В графиках не указываются величины, откладываемые по осям координат, да и сами графики пути и скорости многие не понимают. Физические понятия —скорость, ускорение, равнопеременное движение, законы свободного падения тел и др. — усвоены плохо.

Продолжает существовать известный разрыв в знаниях учащихся по физике и математике. Приступая к изучению равнопеременного движения, учащиеся еще не умеют решать полные квадратные уравнения.

ДЕВЯТЫЕ КЛАССЫ

В девятых классах проводилась контрольная работа в 12 вариантах. На контрольную работу отведено было 2 часа, поэтому в каждом задании было два вопроса теории и одна задача. Вопросы, естественно, не выходили за пределы программы, а задачи были взяты в основном из задачника Знаменского. Вот некоторые варианты заданий.

Вариант 1-й

Связь между линейной и угловой скоростью.

В чем заключается явление диффузии.

Задача. Латунный шар при 18° имеет диаметр 4 см. На сколько градусов надо его нагреть, чтобы он не смог проходить через кольцо радиусом 20,1 мм? Коэффициент линейного расширения латуни = 0,000019 град $^{-1}$.

Вариант 2-й

Центростремительное ускорение и центростремительная сила.

Приведите опыты, подтверждающие молекулярно-кинетическую теорию.

Задача. В железный бидон емкостью 10 л налит до самого верха керосин при 5°. Какой объем керосина вытечет, если поместить бидон в теплой комнате, где температура + 20°? Расширение бидона не учитывать. Коэффициент объемного расширения керосина = 0,001 град $^{-1}$.

Вариант 5-й

Гармонические колебания. Частота и амплитуда колебания.

Количество теплоты. Единица количества теплоты.

Задача. Рабочий забивает железный гвоздь массой 50 г в доску и ударяет 20 раз молотком, масса которого 0,5 кг и конечная скорость 12 м/сек. На сколько градусов нагреется гвоздь, если предполагать, что вся выделенная при ударах теплота пошла на его нагревание? Удельная теплоемкость железа 0,11 кал/г. град.

Вариант 8-й

Гармоническое колебание и его графическая запись.

Механический эквивалент теплоты.

Задача. Поезд массой 2000 т, идущий со скоростью 54 км/час, остановлен тормозами. Какое количество теплоты выделилось в тормозах?

Вариант 10-й

Затухающие колебания. График затухающих колебаний.

Линейное расширение твердых тел.

Задача. При определении расхода теплоты на нагревание 3 кг воды в медном чайнике массой 1,2 кг не учитывали расхода теплоты на нагревание чайника. Какая была при этом допущена ошибка (в процентах)?

Удельная теплоемкость меди — 0,09 кал/г. град.

Вариант 12-й

Волновое движение. Образование поперечных и продольных волн.

Учет теплового расширения в технике.

Задача. Гиря весом 200 Г вращается на нити в вертикальной плоскости. На сколько сила натяжения нити будет больше при прохождении гири через нижнюю точку, чем через верхнюю?

В двух девятых классах эту контрольную работу писало 45 человек. Оценки работ были выставлены самим учителем. Вот каковы эти оценки:

Оценка «5» — 2 ученика.
Оценка «4» — 7 учеников.
Оценка «3» — 16 учеников.
Оценка «2» — 20 учеников.

Итого — 45 учеников, из которых 20, т. е. почти 45 процентов, имеют неудовлетворительные оценки. Этот результат заставляет серьезно тревожиться.

Рассмотрим наиболее характерные недостатки в знаниях учащихся 9 классов.

При формальном знании закона сохранения энергии, ученики плохо справляются с применением этого закона при решении конкретных задач. Большинство учеников не знает размерности механического эквивалента тепловой энергии и путают абсолютное значение этой величины. Правильному решению задач мешает то, что ученики привыкли вычислять энергию как и работу преимущественно произведением силы на путь в килограммометрах. Забвение другой важной единицы энергии и работы — джоуля приводит к грубым физическим ошибкам в решении задач.

Типичным, например, для данных 9 классов является ошибочное решение задачи, приведенной в варианте № 8.

Вот как решает эту задачу ученик Д. Подсчитав, что скорость в 54 км/час = 15 м/сек, для определения работы торможения он составляет вполне правильно формулу:

$$A = \frac{mv^2}{2} = \frac{2.000.000 \cdot 225}{2},$$

но подставлять размерности величины он остерегается, ибо тогда он получит размерность $\frac{\text{кгм}^2}{\text{сек.}}$ (т. е. джоуль), а он не знает, что с ней делать дальше, он привык работу выражать кГм и он пишет результат А = 225000000 кГм. (!)

Здесь для нас совершенно ясно упущение, обусловленное недоработкой не только ученика, но и учителя, так как эта ошибка повторяется в разных вариантах у других учеников. Другой ученик решает эту задачу тоже по формуле $A = \frac{mv^2}{2}$, подставляет размерности кг $\frac{\text{км}}{\text{час}}$, а результат опять-таки получает в кГм.

Единица работы 1 кГм так проста и общедоступна, что учащиеся ее схватывают легко и часто заменяют ею другие физические величины. Так, ученик, вычисляя произведение mv тоже получает его в кГм.

Механический эквивалент тепловой энергии ученица А. определяет $J = 427 \frac{кГм}{г.\ град.}$.Другие пишут: 1 кГм = 427 ккал.

Ученица Б. пишет $J = 427 \frac{кГм}{кал.}$

Она же пишет: «В жидкости кинетическая энергия больше. При нагревании тела потенциальная энергия возрастает. Потенциальная энергия вычисляется по формуле: $F = \frac{mv^2}{2}$».

Безотносительно к последней формулировке, вопиющей по своей физической и грамматической безграмотности, можно сказать следующее. Очевидно, что в изложении темы «Энергия» да и предыдущих тем, в которых развивается понятие о работе, учителем физики допущены серьезные методические погрешности.

Наряду с единицей работы и энергии — 1 кГм необходимо тщательно вводить и закреплять единицу энергии — 1 джоуль равный $\frac{кгм^2}{сек.^2}$. Удобнее всего закрепить эту единицу именно в связи с выражением для кинетической энергии $A = \frac{mv^2}{2}$. Тогда в системе МКС (метр, килограмм, секунда) единица работы выразится в джоулях.

Проделав несколько раз превращение единицы работы системы МКГС (метр, килограмм-сила, секунда), т. е. 1 кГм в джоули, убеждаемся, что 1 кГм = 9,8 джоуля, или округленно 1 кГм = 10 джоулям. Превращения единиц можно провести по схеме:

1 кГм = 1 кГ (сила). м = 1000 Г (сила). 100 см = 1000 . 980 дн. 100 см = 98000000 эрг = 9,8 джоуля.

В дальнейшем все задачи, в которых применяется формула $A = \frac{mv^2}{2}$, должны быть использованы для закрепления единицы работы 1 джоуль. Весьма полезно ввести дополнительное название джоуля — ватт-секунда, так как в технике всеобщее применение имеют единицы энергии киловатт-час и гектоватт-час. Необходимо произвести с учащимися упражнения, которые показали бы им физический смысл и величи-

ну энергии в 1 квт-ч; 1 квт-ч = 3600000 джоулей (вт—сек.) $\cong$ 360000 кГм. Энергии в 1 квт-ч хватит, чтобы поднять 1 тонну груза на 360 метров высоты. 1 квт-ч энергии, использованный на электропахоте, дает возможность вспахать 40 га земли.

Приведя при этом цифры выработки электрической энергии в стране (например, в 1965 году будет выработано в Советском Союзе 520 млрд. квт-часов электроэнергии), можно решить ряд задач о возможности конкретного применения этой энергии. Интересные данные по энергетике Куйбышевской ГЭС приведены в журнале «Техника молодежи» № 12 за 1957 год. Эти данные необходимо использовать в 7-м классе при изучении курса электричества, а в 8-м и 9-м классах возвращаться к таким живым примерам, которые дали бы возможность закрепить у учащихся умение обращаться с различными единицами энергии и работы.

Более конкретным для учащихся необходимо сделать и понятие механического эквивалента тепловой энергии. Можно порекомендовать следующие примеры. Затратив 427 кГм механической энергии можно нагреть один литр воды на 1 градус (например, в опыте Джоуля). Отсюда закрепить идею, что 427 кГм эквивалентны 1 к. калории. Поэтому и получается: $J = 427 \frac{\text{кГм}}{\text{к.кал}}$.

Можно указать учащимся, что, если мы полностью превратим тепловую энергию в количестве 1 калории в механическую энергию, то с ее помощью мы сумеем гирю весом в 1 кГ поднять на высоту почти в 0,5 м или точнее на 0,427 м и совершить при этом работу в 0,427 кГм.

Совершенно не под силу учащимся 9-го класса оказалось решение задач такого простого типа: «Какому количеству теплоты эквивалентна работа: а) двигателя в 1 л. с. в течение часа; б) двигателя в 1 квт в течение часа».

Простейшую задачу на уравнение теплового баланса решил 1 учащийся из 3-х писавших данный вариант.

Знание физической терминологии, правильная формулировка физических законов, умение связно и правильно описать физические явления — свойственны лишь незначительной части учеников. Письменная и устная речь многих учащихся оставляет желать много лучшего.

Ученица М. пишет: «Молекулярно-кинетическая теория — это свойство тел взаимодействия молекул и атомов». Ученик Б. выражается так: «Точка приложения вращающегося тела будет называться осью вращения».

Ученица Ш. пишет: «Единицей количества теплоты называется количество теплоты, которое нужно нагреть 1 г воды при 0°С, чтобы получить 1 калорию теплоты». Таких примеров множество, вряд ли стоит их приводить.

При устных и письменных опросах бросается в глаза, что учащиеся 8-го и 9-го классов часто путают понятия веса и массы.

Если дан вес тела 500 Г, а нужно узнать его массу, то ученики часто пользуются формулой:

$$m = \frac{p}{g} = \frac{500}{980} \cong 0{,}5 \text{ г},$$

что, конечно, неверно, так как масса тела равна 500 г. Для того, чтобы они лучше понимали сущность вопроса, следует разобрать с ними этот пример до конца, не упуская физических размерностей величин.

$$m = \frac{p}{g} = \frac{500\text{Г} \cdot 980 \dfrac{\text{дн}}{\text{Г}}}{980 \dfrac{\text{см}}{\text{сек}^2}} = 500 \ \frac{\text{дн} \cdot \text{сек}^2}{\text{см}} = 500 \text{ г}.$$

Весьма нечеткими являются знания многих учащихся 9-го класса по теме «Колебания и волны». Читая контрольные работы, чувствуешь, что методически слабо проработаны понятия «фаза колебания», «резонанс», «длина волны» и некоторые другие.

Ученица З., например, пишет: «Собственное колебание происходит у шарика только один раз».

В работе ученицы К. приведен график затухающих колебаний с характерной для многих учащихся ошибкой. Согласно этому графику с временем уменьшается не только амплитуда колебаний, но и частота их. На ошибку этого рода следует обратить особое внимание. Если начертить рядом два графика колебаний данного тела: а) собственные незатухающие его колебания и б) собственные затухающие колебания, то учащиеся из сопоставления этих графиков несомненно легче поймут, как действует трение на частоту колебаний. Можно заранее подготовить на листе ряд графиков колебаний маятников одинаковой длины, но с шарами резко различной массы. Коэффициент затухания будет различным у маятников разных масс и можно будет дать графики слабо и сильно затухающих колебаний.

Ученик М. пишет: «Период колебаний математического

маятника прямо пропорционален его длине и обратно пропорционален его ускорению». Другой ученик, обозначив через P_1 равнодействующую между силой тяжести и натяжением нити маятника, пишет: «Чем на больший угол маятник отклонится, тем больше будет равнодействующая P_1, когда маятник придет в положение равновесия».

Даже для тех учеников, которые проявили понимание физической сущности законов гармонического колебания, характерна низкая культура речи, связанность в применении необходимой физической терминологии. Они пишут: «Сила тяжести расположена вниз», «Примем за маятник шар», «Сила P_1 замедляет свое движение» и т. д. В некоторых же случаях встречаются такие тексты: «Взгляды на природу раньше были различные. Каждые ученые смотрели на природу по-разному» (речь идет о природе теплоты) и дальше: «Например, взять если две книги и будем двигать друг по другу, то будет возникать теплота. Ломоносов написал много книг, в которых говорил про взгляды о теплоте».

Другой пример: «Маятник под действием руки можно отвести от равновесия на разное расстояние».

Можно значительно умножить число примеров, говорящих о том, что необходимо значительно усилить работу над общей культурой речи и физической терминологией учащихся.

Еще хуже были результаты контрольных работ, проведенных в ряде 9 классов с целью проверить практическую сметку учащихся, их умение применять физику к решению простых задач практического содержания. Эти контрольные задания были довольно элементарными, но в условиях задач не было дано числовых величин. Физические же величины для задач умышленно были взяты такие, с которыми ученики имеют дело повседневно.

Такие задачи давались с целью установить: насколько изучение физики, физических законов преломляется в применении к элементарным практическим задачам (явлениям в жизни) и какие представления имеются у учащихся о физических величинах, с которыми они повседневно встречаются. Вот текст одной из задач: «Какую я развиваю мощность при подъеме с нижнего этажа на третий (учесть: шел обычным шагом или бежал)?

Какое количество угля потребовалось бы сжечь для того, чтобы совершить работу, равную совершенной мною работе при подъеме»?

Ученикам было объяснено, что они могут спрашивать о величинах, которые им понадобятся для решения задачи. Ус-

ловие задачи без числовых величин оказалось настолько необычным, что лишь через пять минут последовал робкий вопрос: «А какой вес? и еще через две—три минуты: «А какая высота?»

На вопросы было дано разъяснение, что каждый ученик в качестве веса должен взять вес собственного тела, а в качестве высоты такую, какой она им представляется.

Учитель физики дополнительно неоднократно делал пояснения: «Возьмите вес и высоту приблизительно, произвольно». После таких указаний все же через 10 минут продолжались вопросы: «А какая все же высота?», «Я не знаю своего веса» и т. д.

Так как задача была дана для фронтального решения, то ученики могли друг с другом советоваться. Даже в таких благоприятных условиях для учеников, когда многие могли получать помощь со стороны наиболее успевающих товарищей, запись условий задачи правильно отражала только вес учеников (40—50 кг).

Высота подъема на два этажа колебалась от 3-х метров до 400 метров.

Если свести в таблицу данные о высоте подъема на два этажа, то получается следующая картина.

Высота подъема	3 м	4 м	5 м	6 м	15 м	18 м	20 м	24 м	25 м	30 м	400м	Не обозн. высоту
Количество учеников	1	2	1	1	1	1	5	1	1	7	1	5

Время, необходимое на подъем, у отдельных учеников колебалось от 3-х сек. до 2-х минут. Анализ решения задачи учениками дал следующие результаты:

1) В 3-х случаях условие задачи не записано, а все решение представлено только написанием формулы мощности

$$N = \frac{A}{t}.$$

2) В 7-ми случаях подсчитывалась только та работа, которая прошла на создание кинетической энергии движения, но которой можно пренебречь. По существу ученики не подсчитывали основной работы, которую они затрачивали при подъеме на два этажа. Но и в таких случаях только в трех задачах подсчеты доведены до конца. Полученная размер-

ность мощности $\frac{кГм^2}{сек}$ учеников не смущала. Следует отметить, что данная размерность получилась в результате произвольных и необоснованных сокращений, а в действительности из записи учеников размерность получалась в $\frac{кГм^2}{сек^3}$. В четырех случаях подсчеты не доведены до конца.

3) В 10-ти случаях начало решения было правильным. Работа подсчитывалась как произведение собственного веса на высоту подъема, но не все ученики могли закончить (довести до конца) элементарное решение. Вычисленная мощность колебалась от 6,5 $\frac{кГм}{сек}$ до 160 $\frac{кГм}{сек}$. В последнем случае мощность превышает 2 л. с., а у всех в условии задачи записано «шел обычным шагом».

4) Пять человек, записав (или списав у товарищей) условие задачи правильно, затем написали целый ряд формул, но к решению задачи так и не приступили.

Из всего класса только три ученика вычислили количество угля, необходимого для совершения такой же работы. На решение задачи было отведено 30 минут.

В другом 9-м классе вариант задачи выглядел так: «Какую я совершаю работу при переходе от дома до школы?

Какое количество угля потребовалось бы для совершения этой работы?

Какая мощность развивается мною при переходе (учесть шел обычным шагом или бежал)?»

Так же, как и в первом варианте, ученикам было предложено все необходимые численные данные взять по своему усмотрению в соответствии с условиями, в которых они находятся при перемещении от дома до школы.

В течение 10 минут к решению задачи не приступили, т. к. встретили большое затруднение даже в приблизительном определении расстояния от дома до школы. Затем общими усилиями, в результате консультаций друг с другом, в условие задачи были внесены расстояния. Вновь возникли затруднения при определении собственного веса и времени перехода от дома до школы.

Когда и эти данные были в условие задачи внесены, внимание всех учеников было привлечено замечанием: «Если для решения задачи еще понадобятся какие-либо величины, то ученики могут спрашивать, и эти величины будут им даны».

До конца работы над задачей (было дано 30 минут) вопросов о дополнительных величинах не последовало. Приходится делать вывод, что учеников удовлетворяли данные величины, и они посчитали, что их вполне достаточно для решения задачи. Между тем без знания силы, необходимой для преодоления трения при ходьбе, задача не может быть решена.

Анализ решения задачи позволил вскрыть и другие слабые стороны знания физики учащимися.

1) В 20-ти случаях задача решалась с помощью формулы кинетической энергии $A = \frac{mv^2}{2}$, т. е. отыскивалась незначительная часть работы, которой обычно можно пренебречь. Основная же часть работы, которая затрачена на преодоление сопротивления при передвижении, учениками не учитывается. Данные расстояния и времени передвижения использовались только для определения скорости.

Ни у кого из учеников не возникла мысль о том, что при таком решении работа получается постоянной и независимой от расстояния.

2) В 7-ми случаях задача решалась с помощью формулы работы, но дважды формула была записана: $A = FS$ и пять раз: $A = PS$, и во всех семи случаях в качестве силы для передвижения (преодоления сопротивления на горизонтальном пути) брался вес собственного тела. В данном случае ученики отождествляют работу по подъему собственного веса с работой по преодолению сопротивления, т. е. плохо разбираются в элементарных физических процессах.

3) В 6-и случаях делались попытки решить задачу с помощью формулы работы, выраженной через мощность, т. е. $A = Nt$. Здесь наблюдались попытки преобразовать формулу и ввести в нее данные величины, но также в качестве силы по преодолению сопротивления брался вес собственного тела.

Характерным является то, что на предыдущих занятиях ученики решали более сложные задачи, но в них были даны числовые значения величин, и ученикам приходилось только правильно подбирать формулы и вычислять.

Так, например, ученики справлялись с задачей, в которой были даны КПД двигателя внутреннего сгорания, его мощность и время работы. Ученики вычисляли потребное количество топлива.

По нашим наблюдениям, классные решения задач прово

дятся в основном так, что они не являются надежным методом для сознательного и прочного усвоения физики.

В самом деле, при решении задачи на доске всегда у всех учеников получается решение правильным потому, что они копируют решение с доски. При списывании с доски не возникает вопросов по существу физического решения задачи, т. к. процесс происходит механически. Тем более, что учитель следит за решением на доске, сам поправляет ученика, если тот пользуется не той формулой или допускает ошибки в вычислениях.

Приходится констатировать и тот факт, что ученики очень ревностно следят за чисто арифметическими вычислениями и бурно реагируют, когда их ответ численно незначительно расходится с ответом, записанным на доске. В то же время несуразные физические размерности или нереальные численные величины, вроде высоты 2-х этажей в несколько сот метров, в меньшей степени беспокоят учеников.

Многие ученики считают, что выполнение операций над размерностями это дань формальной стороне дела, существенными являются лишь арифметические действия с числовыми величинами. В данном случае наблюдается стремление идти по пути наименьшего сопротивления — ведь оперировать четырьмя действиями арифметики куда проще, нежели правильно использовать различные системы и анализировать физические размерности.

Если судить по оценкам, выставленным учителями в журналах школ, успеваемость по физике вполне удовлетворительная. Но стоит специально заняться проверкой знаний учащихся, не выходя за пределы программы и обычно решаемых задач, как результаты резко отличаются от журнальных.

Так, например, в 9 «А» классе СШ № 33 г. Ульяновска, результат контрольной работы был следующий: из 37 учеников, писавших работу, 2 ученика получили оценки «5», 5 учеников — оценку «4», 5 учеников — оценку «3», 17 учеников — оценку «2», а 8 человек вовсе не сдали работы. Эти оценки, выставленные самим учителем, находятся в резком противоречии с оценками, которые он же сам выставил в журнал в конце I и II четверти (контрольная работа проводилась в III четверти).

Либерализм в оценке ответов учащихся является очень серьезным злом. В одной из школ города в 8 «А» классе не было вовсе неуспевающих учеников в первых двух четвертях. А результат контрольной работы: оценка «5» — 1, «4» — 2, «3» — 6, «2» — 24, «1» — 2.

При всех скидках, которые надо сделать на необычность условий контрольной работы, на присутствие посторонних людей и т. д., такое сопоставление оценок знаний учащихся заставляет серьезно беспокоиться. Необходимо объявить решительную борьбу с либерализмом в оценке знаний учащихся.

ДЕСЯТЫЕ КЛАССЫ

В десятых классах контрольная работа проводилась по теме «Постоянный электрический ток». Было составлено 15 разных вариантов. В каждый билет включено 1—2 вопроса и задача. Приведем содержание некоторых билетов.

Билет 1. Закон Ома для полной цепи. Токи в разреженных газах. Катодные лучи.

Задача: Электропрелка имеет сопротивление 40 ом при температуре 20°С. Определить ток, идущий через прелку при температуре 300°С, если напряжение в цепи 220 вольт, а температурный коэффициент сопротивления 0,003.

Билет 2. Как опытным путем определяется тепловой эквивалент работы тока? Что такое молния?

Задача: Найти ток в главной цепи, токи в двух разветвлениях и напряжение на разветвленном участке, если ЭДС источника 2 вольта, сопротивления разветвлений 4 ома и 6 ом и последовательно с источником включено 2 ома.

Билет 3. Для чего служит шунт и как он рассчитывается? Почему и как отклоняются катодные лучи в магнитном поле?

Задача: Из проволоки сечением 0,3 мм² и с удельным сопротивлением 0,4 $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, нужно сделать спираль для электроплитки, способной дать при включении в цепь с напряжением 120 вольт 150 калорий тепла в секунду. Определить длину проволоки. КПД кипятильника 60 проц.

Билет 4. Термоток и его применение. Законы Фарадея по электролизу. Их значение в науке и технике.

Задача: В цепь с напряжением 120 вольт включили последовательно электролампу с сопротивлением 144 ома и электроплитку с сопротивлением 25,2 ома. Определить напряжение на каждом из приборов, если подводящие провода имеют сопротивление 0,5 ома.

Билет 5. Для чего служит добавочное сопротивление и как оно рассчитывается? Технические применения электролиза.

Задача: В квартире включены параллельно: электрогрел-

ка с сопротивлением 24 ома, 8 ламп сопротивлением 240 ом каждая и 4 лампы сопротивлением 144 ома каждая. Под каким напряжением работают приборы, если подводящие провода имеют сопротивление 0,5 ома, а напряжение в сети 127 в.

Билет 9. Какова природа тока в проводниках первого и второго рода? Как рассчитывается сопротивление проводника?

Задача: На расстоянии 200 м от источника тока, дающего напряжение 120 вольт, включена плитка мощностью 600 вт. Найти сопротивление плитки, если подводящие провода медные, их сечение 2 мм^2.

Билет 14. В чем преимущество параллельного включения ламп перед последовательным? При каких условиях возникает ток?

Задача: Какого сечения медный провод надо взять для устройства проводки от трансформаторной будки общей длиной 500 м, чтобы передавать потребителю мощность 60 квт? Передаваемое напряжение 220 вольт, допускается потеря 7 проц. напряжения.

Нам казалось, что с этим сравнительно легким заданием справятся все учащиеся школ. Контрольная работа была рассчитана на 1 час. В одной школе эту работу выполняли 2 часа.

Контрольные работы были проведены учителями школ, оценены по пятибалльной системе и затем сданы на кафедру физики. Оценки оказались в основном неудовлетворительными и резко расходящимися с четвертными оценками. Ниже приводится таблица с оценками по разным школам:

Оценки	Школа №			Школа №	
	10 А	10 Б	10 В	10 А	10 Б
Пять		2	3	3	1
Четыре		3	5	4	1
Три		1	2	5	10
Два		7	10	7	9
Единица		4	2	3	4

Проверив контрольные работы, мы обнаружили в них следующие типичные ошибки и недостатки. Учащиеся зачастую не понимают смысла закона Ома, не умеют рассчитывать простейшие электрические цепи, не знают, как отклоняются

катодные лучи в магнитном поле, не умеют рассчитывать шунты и добавочные сопротивления, плана решений задачи не составляют, схемами не пользуются, объяснений применяемых формул не дают, переходить от одной системы единиц к другой не умеют, не чувствуют реальности полученных результатов (например, в осветительной сети получается ток в 254 а и это не смущает ученика). Учащиеся иногда напряжение называют напряжённостью, многие учащиеся не умеют решать задачи даже средней трудности, и очень многие не умеют излагать свои мысли. Почти все учащиеся для определения тока берут мощность на отдельном участке цепи, а напряжение — во всей цепи.

Вот что писали учащиеся 10 классов в своих работах. Ученик М. — «Катодные лучи имеют отклонение потому в магнитном поле, что они имеют отрицательный заряд и притягиваются к положительному полюсу». Ученик Б., решая задачу из второго билета, написал: сопротивление разветвления

$$R=\frac{24}{6}=3_{\text{ом}},\ \text{ток}\ J_1=\frac{2в}{3_{\text{ом}}+4_{\text{ом}}}=0{,}2а,\ \text{ток}\ J_2=\frac{2в}{3_{\text{ом}}+6}=0{,}1а.$$

Ученик М. решил задачу из 5-го билета и вот что он написал:

$$J_{\text{пров}}=\frac{V}{R_{\text{пров}}}=\frac{157в}{0{,}50_{\text{ом}}}=254а.$$

Он не учел того, что, кроме подводящих проводов в цепь, были включены лампы и плитка. Его даже не смущала величина тока 254 а в осветительной сети! Ученица М. решила задачу: найти сопротивление электроплитки (Rx), если последовательно с ней включено сопротивление $r = 10$ ом. Приложенное ко всей цепи напряжение U равно 220 вольт, мощность плитки $P = 600$ вт. Вот что она написала:

$$P = JU,\ R_x = JU.$$

Тут все неверно. Налицо и незнание закона Ома, и неумение применять формулу мощности (мощность она взяла на отдельном участке, а напряжение — во всей цепи). Ученица П. на вопрос: «Для чего служит добавочное сопротивление и как оно рассчитывается?» Ответила: «Для того, чтобы брать в себя часть тока». Ученица Д., правильно написав формулу закона Ленца-Джоуля $Q=KJ^2Rt$, так её истолковывает: «Количество теплоты... прямо пропорционально току». Она же, разбирая вопрос — при параллельном или при последовательном соединении двух секций скорее закипит определенное количество воды, пишет: «При параллельном соединении секций для

нагревания воды потребуется больше времени, чем при последовательном». Ученица А. написала $\frac{1}{R}=\frac{1}{4}+\frac{1}{6}=0,4_{ома}$.

Она же напряжение на участке определила как произведение тока на сопротивление всей цепи.

Приведем примеры характерных ошибок учащихся 10-х классов другой школы города.

Ученица О. об искре написала: «Искровой разряд сопровождается треском и ослепительным сиянием» и больше ничего. Об электрической дуге она же только всего и сказала: «Свет исходит от концов углей». ЭДС и напряжение она определила словами: «ЭДС — это разность потенциалов на концах источника тока, а напряжение — это разность потенциалов на концах проводника». Ученик А. вслед за многими повторяет: «Катодные лучи... будут притягиваться к положительному полюсу магнита». Он же о шунте пишет: «Для уменьшения сопротивления амперметра, параллельно ему включают шунт, обладающий большим сопротивлением» и далее «Так как сопротивление шунта велико, то сила тока в нем будет незначительна». Ученик В. нашел для последовательно соединенных участков цепи значения токов 2,4 а и 4,7 а. Ученик С. для вычисления тока берет сопротивление одного участка, а напряжение — на другом. Ученик Ш. написал: «Сила тока в цепи при последовательном соединении источников тока равна сумме сил источников тока $J=J_1+J_2+J_3$.

Ученица А. написала: «ЭДС источника тока — это есть его мощность». Ученица А. о катодных лучах сказала: «...мы заметим светящийся поток каких-то частиц, которые движутся от анода к катоду». О шунте она написала: «Шунт служит для измерения большего напряжения, чем рассчитан вольтметр». По мнению ученика В., «Газы являются хорошими проводниками электрического тока». Ученик С. о вольтметре и амперметре только и сказал, что «Первый включается параллельно, второй — последовательно». Ученица К. не смогла найти общее сопротивление 8 параллельно соединенных ламп. Ученик С. об электролизе написал: «Мы знаем, что при электролизе какого-нибудь вещества возникает электрический ток. При этом положительные ионы движутся к аноду, а отрицательные — к катоду».

Очень важным является вопрос постепенного накопления расширения и обобщения знаний, понятий, законов физики. Например, в механике закон сохранения и превращения энер-

гии выступает как закон превращения кинетической энергии в потенциальную и наоборот. При дальнейшем изучении физики содержание этого закона расширяется, он обобщается новыми фактами. Этот закон выступает как закон превращения любой формы движения материи в другую в эквивалентных соотношениях. То же можно сказать и о других законах, понятиях и категориях физики. Между тем преподавание физики еще слишком часто страдает метафизичностью. Учащиеся не видят связи между отдельными физическими явлениями, не понимают их взаимной обусловленности и т. д. Больше того, знания явно не развиваются вглубь, сущность явлений не вскрывается, нет достаточной преемственности в знаниях учащихся при переходе из класса в класс. Так, на вопрос: имеется ли ускорение в равномерном движении, учащиеся отвечали: «нет». Но ведь при равномерном движении по окружности имеется ускорение центростремительное и оно известно учащимся. На вопрос: может ли быть такой случай, когда скорость движения равна нулю, а ускорение отлично от нуля, — учащиеся отвечали, что раз скорость равна нулю, то и ускорение тоже равно нулю. Такой вопрос был задан учащимся 10-го класса разных школ города в процессе повторения темы «Колебания и волны» из программы 9-го класса. Но ведь, например, при движении маятника скорость его в крайних положениях равна нулю, а ускорение достигает максимума. Или вот еще пример. При движении тела, брошенного вверх, скорость его замедляется и в верхней точке становится равной нулю, а ускорение не равно нулю.

Знания учащихся по электричеству должны были бы закрепляться и углубляться на уроках электротехники. А между тем, несмотря на то, что шунт и добавочное сопротивление изучались по физике и электротехнике, многие ученики не смогли правильно рассчитывать и применять их. То же можно сказать и относительно таких понятий, как ЭДС и напряжение и т. д. Начетничество, формализм в знаниях привели к тому, что, скажем, для определения мощности постоянного тока берут сопротивление одного участка, а напряжение совсем на другом.

В чем корни отмеченных выше недостатков? Конечно, учителя в известной мере правы, когда говорят о несовершенстве программы по физике, о ее перегруженности, о том, что в ряде случаев программный материал не по возрасту труден для учащихся. Но ведь это только в ряде случаев. В целом программный материал по физике нельзя считать недоступным учащимся по возрасту. Анализ многих уроков показывает, что

одной из важнейших причин низкого уровня знаний учащихся является недостаточная научная и методическая подготовка учителя физики к каждому уроку. Речь идет именно о научной и методической подготовке учителя к каждому уроку, так как только она может обеспечить успех дела.

Все темы школьного курса физики более или менее разработаны в методиках, в специальной методической литературе, которой немало издается в последние годы, в журналах «Физика в школе» и «Политехническое обучение». Но, к сожалению, далеко не все учителя приучили себя систематически работать над этой литературой и тем более творчески работать над методикой преподавания. Нам пришлось присутствовать на многих уроках, построенных прямо по учебнику, без капли выдумки, без малейшего элемента творчества самого учителя. Спору нет. Есть между учителями Ульяновска и области учителя физики, которые много и плодотворно работают над методикой преподавания. Учитель Старо-Салаванской школы Ю. М. Шаститко создал целый ряд замечательных самодельных приборов для демонстрации по физике. Еще более ценным в опыте Ю. М. Шаститко является то, что к своей творческой работе он широко привлекает школьников. Ученики Старо-Салаванской школы не только любят физику, но обладают рядом полезных практических навыков, которые сумеют применять по окончании школы на работе.

Методически продуманными являются уроки Н. В. Кирилова (СШ 25 г. Ульяновска), много работают над планами своих уроков учителя Л. И. Каторгина (1 СШ г. Ульяновска), Ф. М. Пашковецкая и Н. Ф. Крайнова (СШ № 7 г. Ульяновска), ряд положительных элементов можно отметить в уроках молодой учительницы Э. Г. Уле. Вместе с тем можно привести ряд примеров, говорящих о недостаточной работе учителей над собой, над повышением своего научного и методического уровня, над демонстрациями по физике, над культурой собственной речи.

Вот, например, учитель В. в 9-м классе ставит вопрос перед учеником: «Расскажите о молекулярных силах сцепления в твердых телах». Ученик отвечает весьма логично и последовательно (в основном по учебнику) и пытается раскрыть природу сил молекулярного сцепления. «В твердых телах,—говорит он, — взаимодействуют ионы и, когда мы их отрываем друг от друга, мы нарушаем взаимодействие ионов». Против этого ответа трудно что-либо возразить. Но учитель недоволен тем, что ученик говорит о ионах «Надо говорить о молекулах», — замечает он. — Как устроен атом? — задает он до-

полнительный вопрос и когда ученик вполне правильно отвечает на этот вопрос, добавляет к прежним замечаниям: «Видишь? Атом нейтрален, а об ионах и говорить не надо. Этого вы даже не знаете...» (!). Но на чем же основано это совершенно неверное замечание? Ведь понятие об ионах ученики имеют хотя бы из химии. К тому же в учебнике по физике для 9-го класса природа сил молекулярного сцепления вскрывается на основе представлений о взаимодействии электрически заряженных ионов. Приходится думать что учитель, готовясь к уроку, даже недостаточно внимательно прочитал учебник.

Ряд грубых методических ошибок сделал этот учитель при объяснении нового материала. Приведем некоторые из них. Тема урока «Удельная теплоемкость вещества». Желая связать новый материал с предыдущим, учитель ставит вопрос: «В каких единицах измеряется теплота? На это следует ответ: «В градусах». Учитель поправляет ученика «В калориях и килокалориях». Очевидно, что здесь было бы уместно вспомнить, что такое калория, но это не сделано. Учитель идет дальше и ставит главный вопрос, направленный на создание понятия теплоемкости. «Одинаковое ли количество теплоты потребуется, чтобы вскипятить одинаковые массы керосина и воды?» Ученики, конечно, не знают, что ответить на этот вопрос. И действительно, что можно на него ответить, если не знаешь температуры воды и керосина в начале опыта, не знаешь, при какой температуре закипает керосин и т. д. На этот вопрос просто даже нельзя дать определенного ответа, настолько он сам неопределенен. Не добившись ответа, учитель идет дальше и ставит новый вопрос: «Возьму ведро воды и кружку. Что я могу вперед (?!) нагреть?». Следует, естественно, ответ, что в кружке вода нагреется быстрее, но ведь этот ответ по существу тоже неправильный, поскольку условия опыта не констатированы. Ведь результат опыта будет зависеть от того, каким путем и от какого источника тепла мы будем нагревать кружку и ведро воды. Наконец учитель ставит в классе эксперимент. В двух одинаковых кружках греются одинаковые количества воды и керосина. Закипают они примерно одновременно. Учитель говорит: «Керосин закипел вперед», но в классе раздаются возгласы: Вода тоже кипит». После такой мало убедительной подготовки учитель формулирует понятие удельной теплоемкости. Не приходится удивляться после этого, что учащиеся этого 9-го класса плохо знают физику, не владеют необходимой культурой устной и письменной речи.

Или вот, например, учительница физики П., излагая в об-

щем правильно в 10-м классе вопрос об электромагнитной индукции, часто путала понятия напряженности и напряжения, не совсем отчетливо выяснила, при каких движениях проводника в магнитном поле возбуждается ЭДС, а при каких движениях ЭДС не возбуждается, не вовремя провела одну из важных для данного урока демонстраций. Эта учительница, как известно, много работает над собой, но, видимо, не изжила все недостатки, значит работать необходимо еще больше.

Следующие факты также свидетельствуют о недостаточной подготовке некоторых учителей школ к урокам по физике.

Так, один учитель физики, имеющий большой опыт работы, эффективное значение тока объяснял учащимся как среднее значение тока, что неверно. Среднее значение тока за период и за большой промежуток времени равняется нулю. На наши вопросы: какие свойства переменного тока не зависят от направления тока, какие значения переменного тока и напряжения показывают тепловые и электромагнитные приборы, многие учащиеся не смогли дать правильных ответов. Не был получен ответ и на вопрос: можно ли измерять переменный ток магнитоэлектрическими приборами и как это сделать? Этот же учитель, рассказывая о принципе получения трехфазного тока, ограничился простой схемой опыта (три гальванометра были включены в цепи трех катушек, расположенных друг от друга на $1/3$ окружности, и над этими катушками вращался подковообразный магнит). Ничего не было сказано о промышленном получении трехфазного тока. На доске была изображена путанная схема опыта получения трехфазного тока. Ученик К., отвечая на вопрос о свойствах трехфазного тока, говорил: «Токи в отдельных фазах отличаются разными скоростями распространения». Учитель подтвердил это словами: «Вот-вот». Вопрос о сдвиге фаз остался не выясненным. Учащиеся не понимают смысла и значения отставания по фазе одного периодического процесса от другого, не понимают смысла кривых тока и напряжения. Явление самоиндукции вообще и в особенности явление самоиндукции в цепи переменного тока учащиеся плохо понимают. Закон или правило Ленца учащиеся не смогли применить на практике.

Вот еще пример плохой подготовки учителя физики к уроку. По теме электрификация СССР не были подготовлены схемы и диаграммы, показывающие рост производства электроэнергии и мощности электростанций СССР, электрифицированная карта бездействовала. В качестве задачи учащимся было предложено рассчитать сечение проводов при передаче электроэнергии от Куйбышевской ГЭС в Москву, при этом было

сказано, что передается вся вырабатываемая электроэнергия и потери мощности в линии составляют 10 процентов. Но ведь известно, что в центр передается не вся энергия, а только 60 проц. и потери составляют около 3 процентов.

А вот еще пример. Один довольно опытный учитель физики школы о средней скорости движения учащимся 10 класса говорил так: средняя скорость — это не действительная скорость, а фиктивная, ею пользуются потому, что не умеют (в пределах школьных знаний) вычислять мгновенную скорость, она (средняя скорость) не имеет практического значения и т. п.

Отдельные учителя не замечают грубые ошибки в контрольных работах учащихся 10-х классов и значительно завышают отметки. Во время контрольных работ тетради и книги открыты. Требования учителей по отношению к ученикам, как правило, занижены.

Одним из существенных недостатков в школьном преподавании физики является пренебрежение учителей к оценке точности измерений физических величин. Некоторые учителя даже сами не понимают сущности и важности этого дела. Следствием этой недооценки точности измерений являются вопиющие, совершенно безграмотные записи в тетрадях учащихся и некоторых учителей. Один учитель в 9-м классе на доске записал:

$$PV = 13626, \ PV = 14629{,}2 \text{ и } PV = 14139{,}6.$$

Здесь представлены три результата измерения произведения давления газа на его объем для одного и того же количества газа при неизменной температуре. Речь идет о проверке закона Бойля-Мариотта. Как можно оставлять столько верных знаков, если заведомо известно, что измерения производились с точностью, не превышающей 10 процентов? Все эти числа надо округлить до 2-х знаков. Иначе можно подумать, что измерения производились с точностью до тысячных долей процента.

Подобное отношение учителей к оценке точности измерений приводит к тому, что учащиеся даже 10-х классов погрешности измерений не подсчитывают. Вычисление погрешности многие учителя физики считают никому не нужным формализмом, но как раз неумение правильно оценивать результаты своих измерений значительно снижает уровень практической ценности знаний учащихся, делает эти знания мертвыми и формальными.

О целом ряде недостатков в знаниях учащихся и в работе

учителей по физике можно судить по ответам выпускников школ во время экзаменов на аттестат зрелости, а также по ответам абитуриентов на приемных испытаниях при поступлении в Ульяновский педагогический институт. Во время экзаменов на аттестат зрелости в ряде случаев учителя просто «за уши» вытаскивают совершенно беспомощного ученика. Так, в СШ № 3 был выставлен положительный бал ученице, которая не ответила по существу ни один вопрос билета, не сумела сформулировать закон Ома для участка цепи, закон Джуля и Ленца и т. д.

Во время экзамена на аттестат зрелости в школе № 33 выпускник Ф. не сумел сформулировать II закон Ньютона, выпускник И. проявил полное непонимание газовых законов, не сумел объяснить, что такое вольт (единица напряжения) и т. д.

В ответах учеников 10-х классов, которые в целом можно признать удовлетворительными или даже хорошими, также встречается ряд ошибок, неточностей, обнаруживается формальность знаний. Так, например, в той же школе № 33 ученица Г., в основном хорошо отвечавшая на выпускном экзамене, изобразила электрическую цепь, в которой были источник тока, амперметр для измерения силы тока и вольтметр для измерения напряжения. Приборы были включены в цепь так, как это и следует, т. е. амперметр последовательно с источником, а вольтметр — параллельно, но в этой цепи не хватало главного. В ней вовсе не был обозначен прибор, для питания которого или для работы которого предназначена вся цепь. И ученица никак не могла понять, что же в ее чертеже неверно.

Наряду с хорошими грамотными чертежами ряда учеников мы видим иной раз пародию на чертеж, либо чертеж, хоть и аккуратный, но вовсе лишенный физического смысла. Так неудачно, например, ученица П. (школа № 3) на выпускных экзаменах начертила параллельное соединение источников тока. Она хотела воспроизвести чертеж из учебника Перышкина для 10-го класса (стр. 86 рис. 82 а), но воспроизвела она этот не очень удачный чертеж так, что возникло серьезное сомнение в ее понимании вопроса.

Ответы многих выпускников показывают слабое знание размерностей. Ученик 33 СШ пишет на доске в решении задачи $F = 4500 \frac{\text{кГм}}{\text{сек}^2}$, понимая под F — силу, многие путают

размерности механического эквивалента теплоты и теплового эквивалента механической энергии.

На ошибки такого рода учитель физики должен обратить серьезное внимание.

Наблюдения на приемных испытаниях в институт дали возможность выявить следующие основные недостатки в знаниях по физике выпускников школ области.

1. Непонимание физического различия между весом и массой тела.

Вот один из многих ответов: «Вес — это сила, с которой тело притягивается к Земле, а масса — это тот же вес... масса равна весу, только они по различному обозначаются». Другие варианты ответов по существу сводятся к тому же, что вес и масса — это одинаковые физические величины.

2. На вопрос: «Что такое сила?» в большинстве случаев ответы следуют формальные: «Сила равна произведению массы на ускорение». Часто вместо устного ответа абитуриент записывает формулу $F = ma$.

3. Не исключением является непонимание пары сил — неумение дать определение пары сил и непонимание физических свойств пары.

В некоторых ответах пара сил отождествляется просто с двумя любыми и как угодно расположенными силами «пара сил — это две силы».

4. Во многих ответах потенциальная энергия представляется только как: «... энергия тела, поднятого над землей».

5. Многие не могут представить себе физической сущности продольных, поперечных и стоячих волн.

6. Не единичны были случаи, когда абитуриент, записав формулу кинетической энергии, не мог объяснить, какими единицами измеряется кинетическая энергия.

7. Часто экзаменующийся, записав верно формулу, не мог объяснить ее смысла — функциональной зависимости между физическими величинами, входящими в формулу. Например, формула уравнения состояния газа $\frac{PV}{T} = Const$ записывает и закон формулируется правильно, но на вопрос, как понимать эту закономерность, нередко следует повторение заученной формулировки. На дополнительный вопрос: «Если изменить, например, давление в пять раз, останется ли постоянным выражение $\frac{PV}{T} = Const$, иногда следовали ответы:

«Нет... тогда все изменится». Еще на дополнительный вопрос: «Что изменится и что не изменится», ответ немногословный: «Все изменится». В конце концов удавалось установить, что ученик так и понимает, что изменяется все выражение $\frac{PV}{T}$.

Когда же указываешь на то, что это выражение $\frac{PV}{T}$ равняется постоянной величине = Const, то ученик становится в тупик.

В данном случае наблюдалось явное расхождение заученной формулировки с тем, как ученики понимают существо явления. Точнее это можно выразить так — ученики заучивают закон, не понимая его.

7. Наибольший пробел в знаниях, окончивших среднюю школу, обнаруживается в разделе «Геометрическая оптика». В этой области обнаруживаются самые нелепые ответы:

а) «Двояковыпуклая линза имеет два главных фокуса, а плосковыпуклая — один».

б) При анализе закона освещенности $E = \frac{I}{R^2} \cos\alpha$ делается вывод, что: «Освещенность зависит от силы тока». При попытке выяснить возможную оговорку все же оказывается, что J понимается как сила тока, а не как сила света источника, но R как и полагается — расстояние в метрах.

е) Особые затруднения встречаются в построении изображений, даваемых линзами. Так, например, когда даны линза, главная оптическая ось и предмет, изображение часто совсем произвольно обозначается по другую сторону линзы, и затем уже, по-видимому, для порядка проводятся один или два луча. Чаще всего, если проводится один луч, то он идет от вершины предмета к вершине изображения через оптический центр линзы.

Указание на то, что ученик не построил, а произвольно обозначил изображение, приводит иногда к тому, что ученик еще проводит целый ряд лучей, но все они привязываются к обозначенному изображению.

Наблюдались случаи, когда при построении изображения проводились два луча из двух крайних точек предмета, а их пересечение считалось изображением одной точки. Другая же крайняя точка изображения находилась по перпендикуляру, опущенному из найденной точки на главную оптическую ось.

При этом, как правило, вторая крайняя точка являлась основанием перпендикуляра на главной оптической оси. В тех случаях, когда предмет помещался между главным фокусом и линзой, обнаруживались стремления все же строить действительное изображение. Правильно проведенные лучи и явно расходящиеся все же затем искривляются и сводятся в одну точку. При этом такому построению дается обоснование: «Если бы я строил по всем правилам, то должно бы получиться так».

Мы не могли, конечно, в этой работе дать полный и исчерпывающий анализ знаний учащихся по физике школ г. Ульяновска. Однако и приведенных материалов, достаточно, чтобы видеть, что преподавание физики страдает еще существенными недостатками и что требуются значительные усилия учителей физики, чтобы эти недостатки преодолеть.

Требуется также решительное улучшение контроля над работой учителей физики со стороны администраций школ.

Большую помощь учителям физики должно оказать городское методическое объединение физиков, призванное изучать и распространять передовой опыт работы выяснять недостатки и объединять усилия учителей в борьбе с ними.

Н. А. ДЕМОКРИТОВ, И. С. ФРОЛОВ,
Ц. М. РАБИНОВИЧ, В. Н. ХОДОРОВИЧ.

ИТОГИ ПИСЬМЕННЫХ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО 8—10 КЛАССАМ СРЕДНИХ ШКОЛ г. УЛЬЯНОВСКА

Министерство просвещения РСФСР приказом № 254 от 31 июля 1958 года предложило органам народного образования совместно с педагогическими институтами провести к 1 декабря 1958 года углубленное изучение состояния преподавания физики и уровня знаний учащихся с контрольными письменными работами по единым текстам.

Преподаватели кафедры физики Ульяновского педагогического института уже в течение нескольких лет ведут наблюдение над состоянием преподавания физики в школах города, что выражается в посещении уроков физики в школах, проведении письменных контрольных работ, обсуждении итогов обследования на методических объединениях учителей физики и т. д. Подобная работа проводилась ими и в 1958—1959 уч. году.

Письменные контрольные работы по единым текстам были проведены в начале декабря 1958 года в 8—10 классах следующих средних школ города: № № 1, 3, 7, 25, 38, 40, 41 и в школе-интернате. В этих школах контрольные работы проводили работники кафедры физики: П. Г. Гликсман, Н. П. Грифцов, Н. А. Демокритов, Н. П. Нецветаев, Ц. М. Рабинович, Р. М. Разник, В. Н. Ходорович, И. С. Фролов.

Контрольная работа по всем классам была рассчитана на один урок и состояла из двух задач и одного вопроса на соображение. Для 8-х классов было 4 варианта билетов, для 9-х и 10-х классов — по 6 вариантов.

Билеты контрольной работы вручались учителю физики в

некоторых школах накануне, а в некоторых — в день проведения контрольной работы.

Контрольную работу в классе проводил учитель в привычной для учащихся обстановке, в присутствии представителя кафедры физики пединститута.

После проверки контрольных работ и занесения оценок в школьный журнал, учитель физики сдавал их для дальнейшей проверки и обработки представителю кафедры физики.

СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО 8-м КЛАССАМ

Вариант 1-й

1. Если поезд будет двигаться со скоростью 60 км/час, то он прибудет к месту назначения с опозданием на 10 минут. Сколько времени ему необходимо двигаться с повышенной скоростью 75 км/час, чтобы ликвидировать опоздание?

2. Необходимо построить фонтан с таким расчетом, чтобы высота водяной струи была равна 5 м. Какую начальную скорость надо сообщить струе?

3. Какое изменение произошло в движении автомобиля, если пассажир оказался прижатым к правому углу сидения? Объяснить.

Вариант 2-й

1. Облако пыли от разрыва артиллерийского снаряда отмечено через 3 секунды после выстрела, а звук разрыва донесся до орудия через 9 секунд после выстрела. Определить, на каком расстоянии от орудия разорвался снаряд и какова его средняя скорость. Путь снаряда считать прямой линией. Скорость звука равна 300 м/сек.

2. Какой скорости в км/час достигнет пассажирский поезд спустя 1 минуту после отхода, если разгон происходил со средним ускорением 0,35 м/сек. Определите среднюю скорость движения поезда в м/сек.

3. Поезд подходит к станции и замедляет свое движение. В каком направлении в это время легче тащить тяжелый ящик по полу вагона: по ходу поезда или в обратную сторону? Объяснить.

Вариант 3-й

1. Два поезда идут навстречу друг другу: один со скоростью 36 км/час, другой—со скоростью 54 км/час. Пассажир, находящийся в первом поезде, замечает, что второй поезд

проходит мимо него в течение 6 секунд. Какова длина второго поезда?

2. Велосипедист, движущийся со скоростью 2 м/сек, начинает спускаться с горы равномерно с ускорением 0,5 м/сек. Найти скорость велосипедиста у подножия горы, если спуск занял 8 сек. Определить среднюю скорость движения.

3. Почему нагруженный автомобиль буксует на плохой дороге меньше, чем пустой?

Вариант 4-й

1. Вагон шириной 3,6 метра, движущийся со скоростью 15 м/сек, был пробит пулей, летевшей перпендикулярно к движению вагона. Смещение отверстий в стенках вагона относительно друг друга равно 9 см. Какова скорость движения пули?

2. Водитель автомобиля заметил преграду и начал торможение в тот момент, когда до нее осталось 15 м. Успеет ли он своевременно остановить машину, если скорость движения была 36 км/час, а среднее ускорение при торможении — 5 м/сек?

3. Почему паровоз не изготовляется в отличие от самолета из легких металлов или сплавов?

Анализ показывает, что учащиеся плохо справились с задачами на равномерное движение. Так, задачу № 1, варианта 1-го, из 52 уч-ся верно решили лишь 13, допустили в решении физические ошибки 11 учеников, арифметические — 6 и совсем не решили 22 ученика.

Аналогичную по сложности задачу № 1 варианта 4-го из 41 ученика верно решили четверо, допустили в решении физические ошибки 14 учащихся, арифметических ошибок не было, совсем не решили задачу 23 ученика.

Ошибки учащихся в решении задач показывают, что они не вникают в смысл условия задачи; не уяснив физического процесса, заключенного в условии, они стремятся механически использовать заученные формулы. Так, при решении задачи № 1, варианта 2-го, многие учащиеся, определяя расстояние полета снаряда, скорость звука умножали на 9 секунд, не учитывая времени полета снаряда до места взрыва.

Задачи на неравномерное движение учащиеся решали лучше, но и здесь заметно механическое применение формул. С вопросами на соображение учащиеся справились с трудом, значительная их часть верного ответа на 3-й вопрос

Итог по 8-м классам

№№ п-п	Школа	К-во 8-х кл.	К-во уча-щихся	Долж. к-во реш.	Получено решений			Не дано решений
					верных	с физич. ошиб-ками	с арифм. ошибка-ми	
1	СШ № 41	1	40	120	78—65%	26—22%	3—2,5%	13—10,5%
2	СШ № 3	1	22	66	28—42%	19—30%	6—9%	13—19%
3	СШ № 25	1	22	66	28—42%	22—33%	7—10%	9—13%
4	СШ № 33	2	55	165	59—36%	38—23%	5—3%	63—38%
5	СШ № 40	2	69	207	54—26%	80—39%	10—5%	63—30%
6	СШ-интернат	1	26	78	20—26%	23—30%	3—3%	32—41%
	Итого	8	234	402	267—38%	208—30%	34—5%	193—27%

не смогла дать. Так, на вопрос № 3, варианта 4-го, из 41 учащегося дали верный ответ лишь 19.

В целом результаты контрольных работ показывают, что учащиеся 8-х классов задачи по физике решают слабо. Учителям следует рекомендовать уделять больше внимания задачам и учить школьников анализировать их условия, детально выясняя физический смысл решаемой задачи.

Результаты различны все же в разных школах. Так, у учащихся 25 СШ, решавших первые два варианта, наибольшее затруднение вызвали задачи-вопросы. Иногда ответ давался правильный, но отсутствовало соответствующее объяснение, не говоря уже об обобщении.

У многих учащихся этой школы слишком большое стремление к округлениям даже тогда, когда этого не требуется. Так, если дается точное значение $g = 9{,}8$ м/сек², то берут $g = 10$ м/сек², не объясняя, чем это вызвано. При решении задач, в которых встречаются уравнения с одним неизвестным, допускаются грубые ошибки в решении самих уравнений.

Как видно из таблицы, наибольшее число верных ответов по 8-м классам дали учащиеся Заволжской школы № 41. Анализ ответов учащихся этой школы показывает, что ряд вопросов программы методически хорошо отработан учителем Л. Ф. Хохлачевой. Так, например, на вопрос № 3, варианта 2-го ответили правильно и осмысленно все учащиеся, писавшие данный вариант. Это можно объяснить только тем, что учитель в свое время тщательно разобрал этот случай с учащимися, закрепил у них четкое понимание разных случаев проявления инерции движения и инерции покоя. Очевидно, что вопрос не столь тщательно был отработан, например, в школе № 3, где мы наряду с отдельными верными ответами встречаем много явно неверных. Так, некоторые учащиеся заверяют, что при замедлении хода поезда ящик будет легче тащить против хода поезда, так как человек при этом будет якобы отклоняться в «обратную сторону». Именно наличие нескольких одинаково неверных ответов у учащихся одного класса, говорит о явной недоработке учителя.

Очень четко ответило большинство восьмиклассников школы № 41 на вопрос № 3 варианта 1-го. А среди учащихся школы № 40 мы встречаем и такие ответы на вопрос: «Какое изменение произошло в движении автомобиля, если пассажир оказался прижатым к правому углу?» «Автомобиль начинает останавливаться, а человек еще по инерции движет-

ся вперед». Очень многие ученики этой школы вовсе не ответили на данный вопрос. Следует отметить, что учащиеся школы № 40, писавшие 4-й вариант, почти все ответили правильно на вопрос № 3, связанный с трением. Очевидно, что эта тема лучше отработана учителем, чем тема, посвященная инерции.

СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО 9-м КЛАССАМ

Вариант 1-й

1. Самолет описывает «мертвую петлю» в вертикальной плоскости радиусом 800 метров. Найти силу, прижимающую летчика к сидению в верхней и нижней точках петли, если скорость самолета 720 км/час, а вес летчика 80 кГ.

2. На поверхности воды распространяется волна со скоростью 2 м/сек. при частоте 4 гц. Какова разность фаз точек, отстоящих друг от друга на 25 см по направлению распространения волны?

3. Если поставить на стол звучащий камертон, то звук заметно усиливается. Откуда берется в этом случае энергия?

Вариант 2-й

1. Конькобежец движется со скоростью 36 км/час по окружности радиусом 40 м. Под каким углом к горизонту он при этом наклоняется?

2. Определить длину секундного маятника для места, в

$$\text{котором} \quad g = 9{,}8 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}.$$

3. По одному концу длинной трубки ударили молотком. На другом конце услышали последовательно, не один, а два звука. Объяснить это явление.

Вариант 3-й

1. Танк весом 50 т движется со скоростью 54 км/час. Мост под его тяжестью прогибается, образуя дугу радиусом 100 метров. Определить, с какой силой давит танк на мост, проходя через его середину.

2. Волна от проходящего парохода дошла до берега через одну минуту, причем расстояние между двумя соседними горбами волны равно 1,5 м, а время между двумя последо-

вательными ударами о берег 2 сек. Как далеко от берега проходил пароход?

3. Необходимо с наименьшей затратой силы проплыть против течения между пунктами А и В и обратно в пункт А. Где лучше плыть, у берега или посередине реки?

Вариант 4-й

1. Ведерко с водой вращается в вертикальной плоскости на веревке длиной 25 см, причем вода из ведерка не выливается.

Сколько оборотов в секунду совершает ведерко?

2. Маятник длиной 98 см имеет период колебаний равный 2 сек. Найти ускорение силы тяжести.

3. Ураган может сорвать крышу с дома и подбросить вверх. Объяснить образование такой «подъемной силы».

Вариант 5-й

1. Проезжая закругление дороги, велосипедист, чтобы не потерять равновесия, отклонился на угол 10° от вертикального направления. С какой скоростью ехал велосипедист, если радиус закругления равен 60 м?

2. Привести примеры на резонанс и объяснить их.

3. Сложите два колебательных движения с одинаковыми периодами и амплитудами, но сдвинутыми по фазе на п/2.

Вариант 6-й

1. Радиус кривизны выпуклого моста равен 50 м. Через мост едет автомобиль весом 1,5 т со скоростью 10 м/сек. С какой силой давит автомобиль на мост, проезжая через середину?

2. Как сдвинуты по фазе действующая сила при колебательном движении и скорость колебательного движения. В какой точке колеблющийся маятник находится бо́льшую часть времени?

3. Какую мощность развивает ученик при поднятии с первого этажа школы на четвертый этаж (данные взять самим).

Анализ работ девятиклассников показывает, что многие учащиеся затрудняются в решении задач на центростремительную силу, причем часть учащихся вычисляет величину центростремительной, а часть — центробежной силы, некоторые из них эту величину принимают за силу давления.

Итог по 9-м классам

№№ п-п	Школа	К-во 9-х кл.	К-во уч-ся	Должное количество решений	Получено решений			Не дано решений
					верных	с физич. ошибками	с арифм. ошибками	
1	СШ № 41	1	23	69	33—48%	6—9%	8—11%	22—32%
2	СШ № 7	1	41	123	54—44%	31—25%	11—9%	27—22%
3	СШ № 38	1	39	117	42—36%	30—26%	10—8%	35—30%
4	СШ № 25	1	28	84	28—33%	34—40%	1—1%	21—25%
5	СШ № 3	1	33	99	24—24%	32—32%	15—15%	28—28%
6	СШ № 40	2	57	171	25—15%	73—43%	30—20%	43—20%
7	СШ-интернат	1	26	78	11—14%	40—51%	4—5%	23—30%
	Итого	8	247	741	217—29%	246—33%	79—11%	199—27%

В результате у многих задачи на вращательное движение оказались решены неверно. Так, например, задачу № 1, варианта 3-го, из 33 учащихся верно решили 16, допустили арифметические ошибки в вычислениях 3 ученика, физические ошибки допустили 13 учащихся и 1 ученик не дал никакого решения.

Плохо учащиеся справились с задачей на вычисление числа оборотов вращающегося ведерка с водой (вар. 4, № 1): из 27 учащихся дали верное решение этой задачи лишь 5 учеников, 7 учащихся не дали никакого решения, 6—допустили арифметические ошибки в вычислениях, а 9 учащихся дали физические ошибки, заключающиеся, главным образом, в механическом использовании формул без понимания смысла задачи.

Характерны арифметические ошибки в решении задачи № 2, варианта 4-го (определение ускорения силы тяжести). Почти все ученики правильно вывели формулу ускорения и верно заменили входящие в нее величины соответствующими числами, но при вычислении получили самые разнообразные ответы: 1060, 104, 980, 966 и т. п.

В общем учащиеся 9-х классов решают задачи по физике лишь средней трудности, особенно затрудняются в решении задач на вращательное движение и на колебания и волны. На задачи-вопросы правильно отвечали немногие девятиклассники. Так, на вопрос 3, варианта 5-го, из 30 учащихся дали верный ответ лишь 8 учеников, несмотря на то, что эта задача разбирается в учебнике, где приводится и соответствующий чертеж (учебник физики 9 кл., стр. 48, рис. 59 б).

Общий недостаток решений задач всех вариантов—отсутствие ясного понимания разницы между центростремительной и центробежной силами. Вопрос этот требует быстрейшего разрешения с методической точки зрения. Многие учащиеся путают обозначения единиц веса в кГ и массы кг. Из 5 учащихся школы № 25, решавших вариант 1-й, только один верно ответил на вопрос № 3, варианта 1-го (о причине усиления звука камертона, если его поставить на стол). Значительно лучше справились учащиеся этой школы с вариантом 2, допуская в его решении чаще всего арифметические ошибки. Никто не допустил ошибок при определении l—длины секундного маятника, в котором $g=9{,}8$ м/сек². Не вызвало особых затруднений и решение задачи № 1, варианта 2-го, а также ответ на вопрос 3, варианта 2-го. Этот материал усвоен учащимися неплохо.

Из решавших вариант 3-й никто не справился с задачей № 2 и только один ученик решил задачу № 1, где использовал формулу для определения величины $F = \frac{mv^2}{R}$. Нет ясного представления у учащихся и о длине волны, соотношениях между λ, v, t, s. Этим и вызвано было отсутствие правильных решений задачи № 2 варианта № 3.

В варианте 4 учащиеся испытывали затруднение при решении задачи № 1. И здесь сказывается путаница в вопросе о центростремительной и центробежной силах в зависимости между числом оборотов, скоростью, силой, радиусом вращения. Характерно, что большинство учащихся начинали решение с задачи № 2, в которой надо было найти ускорение силы тяжести по известной длине и периоду маятника. С этой задачей учащиеся справились сравнительно неплохо.

В вариантах 5 и 6 встречаются аналогичные ошибки и, кроме того, у всех учащихся, решавших вариант 5-й, вызвала затруднение задача № 3, где надо было сложить два колебательных движения с одинаковыми периодами и амплитудами, но сдвинутыми по фазе на $\frac{\pi}{2}$.

СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО 10-м КЛАССАМ

Вариант 1-й

1. В квартире включены параллельно: электрогрелка с сопротивлением 24 ома, 8 ламп сопротивлением 240 ом каждая и 4 лампы сопротивлением 144 ома каждая. Под каким напряжением работают приборы, если подводящие провода имеют сопротивление 0,5 ома, а напряжение в сети 127 в.

2. В импульсном разряде в газах возникает ток в миллион А, длительность разряда 10,6 сек, приложенное напряжение 40 кв. Определить мгновенную мощность импульса при разряде и работу за один импульс (работу вычислить в квт-ч).

3. Как рассчитывается добавочное сопротивление вольтметра?

Вариант 2-й

1. Найти ток в цепи 1, тока J_1 и J_2 в разветвлениях, напряжение между точками А и В, если r_1=2 ома, r_2=4 ома, r_3=6 ом, r_4= 2 ома (дана схема). Сопротивлением источника пренебречь.

2. При перемещении между двумя точками поля заряда величиной в 1 кулон совершена работа в 1 кГм. Определить разность потенциалов между этими точками в вольтах.

3. Почему гораздо опаснее браться за электрические провода мокрыми руками, чем сухими?

Вариант 3-й

1. В цепь с напряжением 120 вольт включили последовательно электроплитку с сопротивлением 144 ома и электроплитку с сопротивлением 25,5 ома. Определить напряжение на каждом из приборов, если подводящие провода имеют сопротивление 1 ом.

2. Что такое электрон-вольт (эв)? Установите связь между эв и эргом.

3. Во время молнии при разности потенциалов между облаком и землей в миллиард вольт возникает ток в среднем 20000 А, разряд длится 0,001 сек. Подсчитайте, во что обошлась бы одна молния по ценам 40 коп. за 1 квт-ч?

Вариант 4-й

1. На расстоянии 200 м от источника тока, дающего напряжение 120 в, включена плитка мощностью 600 вт. Найти сопротивление плитки, если подводящие провода медные, их сечение 2 мм^2.

$$\left(\rho = 0{,}017 \frac{\text{ом. мм}^2}{\text{м}}\right).$$

2. Какой заряд в кулонах нужно сообщить батарее из двух лейденских банок с емкостью 12000 мкф и 11000 мкф, соединенных параллельно, чтобы зарядить ее до напряжения 10000 в?

3. На двухпроводной линии постоянного тока взяты произвольно две точки А и В на каждом из проводов. Как при помощи вольтметра и магнитной стрелки определить, с какой стороны находится источник напряжения?

Вариант 5-й

Какого сечения медный провод нужно взять для устройства проводки от электростанции до места потребления на расстоянии 500 м, чтобы передавать потребителю мощность 5 квт? Напряжение на шинах станции 130 в, допускаемая потеря напряжения в линии 7%.

2. Как определить полюсы аккумулятора, имея стакан обычной воды?

3. В цепь напряжением в 100 вольт включен реостат сопротивлением 400 ом. Что будет показывать вольтметр с внутренним сопротивлением 800 ом, если один зажим его включить к одному концу реостата, а другой—к середине?

Вариант 6-й

1. Какой ток потребляет мотор электровоза, развивающий силу тяги в 1000 кГ, если напряжение в сети 500 в и электровоз движется со скоростью 60 км в час?

2. Для освещения елки от сети 220 в хотят использовать 4 гирлянды маленьких лампочек, рассчитаны каждая гирлянда на напряжение в 110 вольт. Две гирлянды состоят из 6-ти вольтовых и две другие из 8-ми вольтовых лампочек; 6 и 8-ми вольтовые лампочки имеют разную мощность. Как включить в сеть эти гирлянды?

3. Что такое катодные лучи и как они отклоняются в магнитном поле?

Итог по 10 классам

№№ п-п	Школа	К-во 10 кл	К-во уч-ся	Должное кол-во решений	Получено решений			Не дано решений
					верных	с физич. ошибками	с арифм. ошибками	
1	СШ № 7	3	87	261	81—31%	107—41%	3—1%	70—27%
2	СШ № 25	10	30	90	17—19%	52—58%		21—23%
3	СШ № 40	4	94	282	29—10%	68—24%	73—25%	112—40%
4	СШ № 38	3	91	273	21—8 %	108—40%	20—7%	124—45%
	Итого . .	11	302	906	148—16%	335—34%	96—11%	327—36%

С некоторыми задачами учащиеся 10-х классов справились удовлетворительно; так, задачу № 1, варианта 1-го, из 39 учащихся верно решили 13, задачу № 1 варианта 2-го, из 39 учащихся верно решили 19.

С решениями большинства других задач обстоит хуже. Так, задачу № 4, варианта 4-го, из 34 учащихся смогли решить правильно лишь 4 ученика, а задачу № 1, варианта 5-го, из 32 учащихся правильно решили 5 учеников.

Плохими оказались результаты ответов на третьи вопросы билетов (вопросы на соображение). Так, на вопрос № 3,

варианта 4-го, из 34 учащихся дал верный ответ лишь один ученик, на вопрос № 3, варианта 5-го, из 32 учащихся — тоже лишь один ученик. На вопрос № 3, варианта 6-го, из 34 учащихся верно ответили 2 ученика.

В целом по 10-м классам можно отметить следующее: многие учащиеся не знают единиц емкости, не знают, как изгибаются катодные лучи в магнитном поле, не могут составлять схем разветвленной сети по условиям задачи, не задумываются над невероятностью ответов (сечение проволоки 0,008 мм², 0,00018 мм² и т. п.).

Многие учащиеся не умеют анализировать условие задачи, путают стандартные обозначения физических величин, затрудняются в применении широко известных законов физики (Ома, Джоуля — Ленца).

В целом результаты контрольной работы по 10-м классам явно неудовлетворительные. Даже, если предположить, что во втором полугодии, многие пробелы будут восполнены, такое положение нельзя считать нормальным, так как с учащимися надо серьезно работать с самого начала учебного года.

Наиболее характерны следующие недостатки в работах учащихся 10-х классов. Почти все десятиклассники при решении задач не пользуются схемами электрических цепей и, видимо, не умеют их выполнять, не придерживаются принятых обозначений. Например, одно и то же напряжение в данной задаче обозначается то как U, то как U_1. Отсутствие схем и формальное знание законов Ома, Кирхгофа, Джоуля — Ленца приводит к тому, что неправильно составляются уравнения. Многие учащиеся не понимают физического смысла и содержания указанных выше законов электричества. Только этим можно объяснить путаницу, допускаемую многими, которые для вычисления тока в цепи напряжение берут на одном участке, а сопротивление—на другом. Вот одна из типичных ошибок, ее допустили 99,9% учеников, писавших работы. К цепи, содержащей последовательно соединенные известное сопротивление R_1 и неизвестное сопротивление R, приложено напряжение U, мощность, поглощаемая неизвестным сопротивлением P. Найти величину тока в цепи и неизвестное сопротивление R. И вот подавляющее большинство учащихся написали:

$$P = IU; \; I = \frac{U}{R}.$$

Некоторые учителя не заметили этой серьезной ошибки.

Учащиеся слабо знают системы электрических единиц, не умеют переходить от одних единиц к другим. Вот что написано в работах некоторых учеников:

$4 . 10^9$ дж=$144 . 10^{11}$ квт-ч; 1 дж=втчас; 9,8 в=0,327 ед. CGSE; Работа А=120 квт; F=1000 кг . 9,8=9800 дн.

$\frac{1}{R} = 14$ ом; 1 млрд. вт. сек. = 720000 млрд. квт-ч;

эв = $4,8 . 10^{-10}$ ед. CGSE.

В работах учащихся можно встретить и такие записи:

$R = IU$; $R = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$; $A = \frac{q}{\varphi}$;

А — работа;

φ — потенциал;

q — заряд;

площадь сечения $S = 2\pi r^2$, $S = \rho l R$ и т. п.

К решению задач объяснения не даются. План решения не составляется, задачи не анализируются. Многие учищиеся для решения берут первые попавшиеся формулы. Оказались и такие ученики, которые за целый час вообще ничего не сделали и вовсе не сдали свои листки. Редко кто смог правильно сказать, что такое электрон-вольт и какова связь его с эргом.

На вопрос «почему гораздо опаснее браться за электрические провода мокрыми руками, чем сухими» многие написали: «Вода является хорошим проводником и диэлектрическая постоянная воды в 81 раз больше диэлектрической постоянной воздуха и, следовательно, проводимость воды в 81 раз больше, чем у воздуха».

Для большинства учащихся непреодолимые трудности вызвала следующая задача: В цепь с напряжением 100 в включен реостат сопротивлением 400 ом. Какое напряжение показывает вольтметр с внутренним сопротивлением 800 ом, если один зажим его подключить к одному концу реостата, а другой, к середине?

Одни ее вовсе не решили, а другие написали — вольтметр покажет 50 в.

Среди вопросов был и такой: на двухпроводной линии постоянного тока взяты произвольно две точки А и В на каждом из проводов. Как при помощи вольтметра и магнитной стрелки определить, с какой стороны находится источник напряжения?

На него тоже почти никто не ответил.

Учащиеся слабо рассчитывают шунты и добавочные сопротивления, неправильно рисуют схему включения шунта.

В задаче № 1 (из первого варианта) требовалось определить напряжение, под которым находятся приборы; напряжение в сети 127 вольт. Многие написали ответ: ток в подводящих проводах осветительной цепи J=254 а, а напряжение U=2394 в, между тем оно должно быть меньше 127 в. Вообще многих учащихся не смущают явно неправдоподобные цифры, вроде приводимых выше.

О свойствах катодных лучей учащиеся писали. «Катодные лучи—это отрицательно заряженные электроны или поток электронов, движущихся от катода. Они отклоняются в сторону положительного полюса магнита».

В работах очень много вычислительных и грамматических ошибок.

Учителя некоторых школ поставили за контрольные работы завышенные отметки. С этим явлением следует решительно бороться.

По приведенным результатам нельзя полностью судить о качестве учебной работы учителя, но все же они дают некоторый сравнительный материал для суждения о ее состоянии.

Из приведенных цифровых данных видно, что наилучшие результаты контрольной работы дали учащиеся учительницы Хохлачевой Л. Ф. (СШ № 41) — 58 проц. правильных решений. За ними следуют учащиеся учительницы Пашковецкой Ф. М. (СШ № 7) — 44 проц.

Так как все школы города находятся приблизительно в одинаковых условиях, то можно сказать, что и учителя других школ имеют возможность организовать учебную работу таким образом, чтоб иметь результаты во всяком случае не ниже указанных.

Падение процента правильных решений ниже 25—20 должно указывать учителю на необходимость срочного и серьезного пересмотра методики своей работы с учащимися. Да и 40—50 процентов верных решений не могут считаться достаточными.

Можно надеяться, что ежегодное проведение подобных контрольных работ и обсуждение их результатов на городском методическом объединении создаст некоторый дополнительный стимул в работе коллектива учителей физики школ города, стимул в их борьбе за повышение качества всей учебной работы.

Итоги контрольной работы учащихся у отдельных учителей

№№ п-п	Учителя и школа	Классы	К-во уч-ся	Должное к-во решен.	Получено решений верных	с физич. ошибками	с арифм. ошибками	Не дано решений
1	Хохлачева Л. Ф. СШ № 41	8—1 9—1	63	189	111—58%	32—17%	11—6%	35—18%
2	Пашковецкая Ф. М. СШ № 7	9—1	41	123	54—44%	31—25%	11—9%	27—22%
3	Силантьева В. Г. СШ № 3	8—1	22	66	26—42%	19—30%	6—9%	13—19%
4	Свидерская А. Н. СШ № 38	9—1	39	117	42—36%	30—26%	10—8%	35—30%
5	Фадеев Н. В. СШ № 38	8—2	55	165	59—36%	38—23%	5—3%	63—38%
6	Крайнова Н. Ф. СШ № 7	10—3	87	261	81—32%	107—41%	3—1%	70—27%
7	Кириллин В. Н. СШ № 25	8—1 9—1 10—1	80	240	73—30%	108—45%	8—3%	51—21%
8	Уле Э. Г. СШ № 3	9—1	33	99	24—24%	32—32%	15—15%	28—28%
9	Фомина СШ № 40	8—2 9—2	126	378	79—21%	153—40%	40—10%	106—29%
10	Зинина В. П. СШ-интернат	8—1 9—1	52	156	31—20%	63—40%	7—3%	55—36%
11	Семёнов Е. А.	10—4	94	282	29—10%	68—24%	73—25%	112—40%
12	Кохова Н. Н. СШ № 38	10—3	91	273	21—8%	108—40%	20—7%	124—45%

Оценки, полученные учащимися 8-х классов

№№ п-п	Школа	Кол-во классов	Кол-во уч-ся	Оценки					% положительных оценок
				5	4	3	2	1	
1	СШ № 41	1	40	7	17	10	6	—	85%
2	СШ № 3	1	22	2	3	7	10	—	54%
3	СШ № 25	1	22	5	5	9	3	—	86%
4	СШ № 38	2	55	2	10	19	21	3	56%
5	СШ № 40	2	69	2	1	28	32	6	45%
6	СШ-интерн.	1	26	2	3	9	8	4	54%
	Итого	8	234	20	39	82	80	13	60%

Оценки, полученные учащимися 9-х классов

№№ п-п	Школа	К-во классов	К-во учащихся	Оценки					Процент положительных оценок
				5	4	3	2	1	
1	СШ № 41	1	23	1	8	10	4	—	82%
2	СШ № 7	1	41	1	8	19	13	—	68%
3	СШ № 25	1	28	4	4	14	6	—	78%
4	СШ № 38	1	39	1	10	14	12	2	64%
5	СШ № 3	1	33	4	4	14	11	—	67%
6	СШ № 40	2	57	—	3	16	33	3	37%
7	СШ-интернат	1	26	1	1	17	5	2	73%
	Итого	8	247	12	38	104	84	7	67%

Оценки, полученные учащимися 10-х классов

№№ п-п	Школа	К-во классов	К-во уч-ся	Оценки 5	4	3	2	1	% положительных оценок
1	СШ № 7	3	87	3	13	30	36	5	52%
2	СШ № 25	1	30	—	3	19	8	—	73%
3	СШ № 40	4	98	—	8	45	39	6	54%
4	СШ № 38	3	91	3	4	20	62	2	29%
	Итого	11	306	6	28	114	145	13	48%

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Результаты контрольной работы по 8—10 классам ряда средних школ г. Ульяновска дают основание считать, что решение задач по физике (за время сентябрь — ноябрь 1958 г.) не во всех средних школах города было поставлено на должном уровне. Умение же учащихся решать задачи по физике говорит о качестве их учебной подготовки по этому предмету.

2. Результаты проведенной контрольной работы дают основание судить о качестве учебной работы отдельных учителей физики, дают некоторую объективную возможность выделить лучших учителей и тех, которые нуждаются в методической помощи.

3. Подобные контрольные работы необходимо практиковать и в дальнейшем, но целесообразнее проводить их в конце третьей или в начале четвертой четверти учебного года, дабы иметь возможность судить о степени усвоения учащимися всей годовой программы физики соответствующего класса.

НОВЫЕ ПРИБОРЫ

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. И. Н. УЛЬЯНОВА
ТОМ XVI

М. И. БЕЛЫЙ, Н. П. МАКАРОВ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

До последнего времени на промышленных предприятиях для контроля твердости деталей в основном применяются механические методы по способу Бринеля и Роквелла. Наряду с несомненными достоинствами методы механического контроля твердости деталей имеют существенные недостатки.

Механический контроль твердости в той или иной степени связан с разрушением образца, иногда он делает деталь непригодной для дальнейшей эксплуатации. Механический контроль твердости связан с большой затратой рабочего времени, с необходимостью транспортировки тяжелых деталей к контрольным приборам, он не позволяет проверять твердость детали в узле, не разбирая его. Ввиду этого существующая методика испытания механическими методами сводится к выборочному испытанию нескольких образцов из каждой партии, что, конечно, не гарантирует от возможности наличия в ней дефектных деталей.

В последние годы проявляется широкий интерес к физическим методам контроля твердости, основанным на измерении физических величин, изменяющихся с изменением твердости. Совершенно очевидны преимущества методов физического контроля твердости: они дают возможность перейти от выборочного контроля к сплошному контролю всей продукции, исключают порчу деталей при испытаниях, они дают возможность автоматизировать процесс контроля и осуществлять автоматическую сортировку деталей по твердости.

В настоящей статье рассматривается конструкция и принцип действия прибора, служащего для измерения твердости стальных деталей электромагнитным методом.

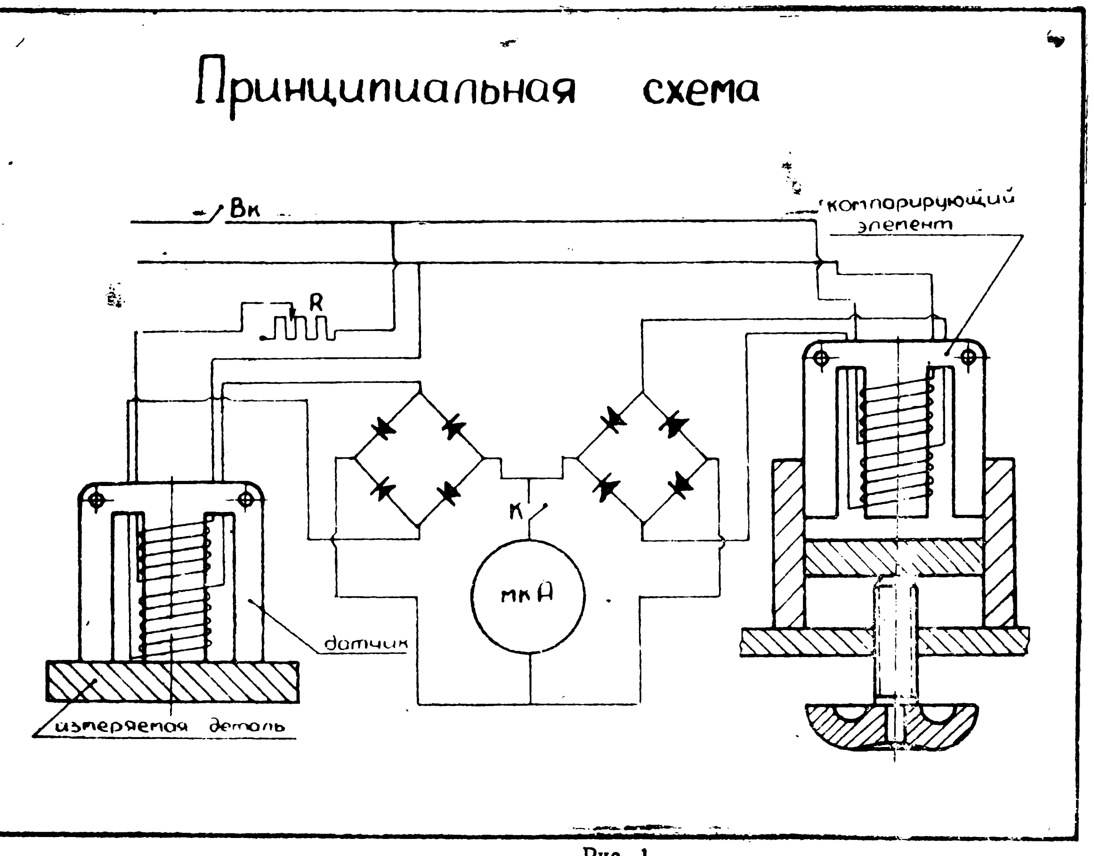

Принципиальная схема
Вк
R
компарирующий элемент
К
мкА
датчик
измеряемая деталь

Рис. 1.

Прибор разработан авторами статьи и изготовлен в лаборатории Ульяновского автомеханического техникума.

Предлагаемый прибор состоит из датчика, компарирующего элемента и измерителя. Датчик выполнен из Ш-образного стального сердечника, нижняя поверхность которого обработана в соответствии с формой измеряемой детали. На средний стержень сердечника одеваются две катушки. В одну катушку, состоящую из W_1, витков подается переменный ток I_1. В магнитопроводе возникает переменный магнитный поток.

Величина его $\Phi = \frac{I_1 W_1}{R_м}$, где $R_м$ — магнитное сопротивление цепи, через которую замыкается магнитный поток.

$$R_м = \Sigma \frac{l_i}{\mu_i \ S_i},$$

где li — длина отдельных элементов магнитопровода.

Si — площадь поперечного сечения.

μi — магнитная проницаемость отдельных элементов цепи.

Известно, что воздух имеет очень малую магнитную проницаемость по сравнению с ферромагнитными телами и оказывает большое сопротивление магнитному потоку. Поэтому при разомкнутом сердечнике в магнитопроводе возникает небольшой магнитный поток.

Переменный магнитный поток Ф индуктирует во второй катушке датчика переменную электродвижущую силу (ЭДС).

$$E_2 = 4{,}44 f \, W_2 \Phi m$$

Если сердечник датчика замкнуть ферромагнитным телом, то магнитное сопротивление цепи резко уменьшится, значительно возрастет переменный магнитный поток, во второй катушке будет индуктироваться значительно большая ЭДС.

Магнитное сопротивление ферромагнитных материалов в большой степени зависит от магнитной проницаемости μ, а магнитная проницаемость, как показывают экспериментальные данные, изменяется с изменением структуры материала.

Известно, что твердость материала связана с его структурой, и с изменением твердости изменяется структура, а следовательно, магнитная проницаемость.

В экспериментальном научно-исследовательском институте подшипниковой промышленности были проведены исследования (Л1) магнитных свойств подшипниковой стали

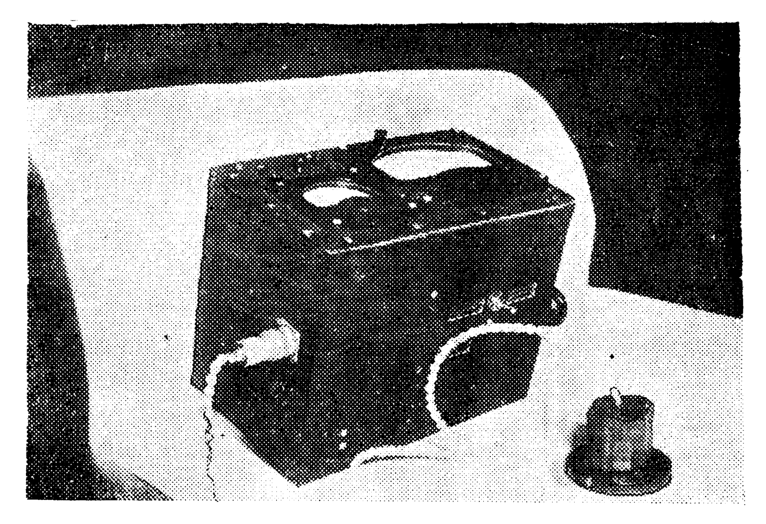


Рис. 2.

ШХ15 при различной термической обработке. Испытуемые образцы были закалены при разных температурах в интервале 780—900°C и подвергнуты отпуску в течение двух часов при температуре 150°. Измерялась твердость и исследовалась структура образцов.

В результате получились следующие данные:

температура закалки C°:	μ	Rc
760	191	56,5
780	180	60,5
800	174	61,5
830	163	63,5
850	138	64,5
870	114,5	65,5

Таким образом, магнитная проницаемость убывает непрерывно с повышением температуры закалки. Эксперименты показывают, что магнитная проницаемость является хорошим средством для характеристики состояния мартенсита и быстрого определения относительной величины степени дисперсности кристаллов мартенсита и концентрации твердого раствора.

Следовательно, определение твердости может произво-

диться путем определения магнитной проницаемости. Из сказанного следует, что если сердечник датчика замыкать деталями, выполненными из материалов с различной твердостью, а следовательно, с различной магнитной проницаемостью, то будет изменяться магнитный поток в сердечнике, а следовательно, ЭДС, индуктированная во второй катушке.

На данном принципе и основывается работа предлагаемого прибора. Прибор выполнен по дифференциальной трансформаторной схеме. ЭДС, индуктируемые во вторичных катушках датчика и компарирующего элемента, выпрямляются с помощью селеновых выпрямителей, соединенных по мостовой схеме.

Выпрямленные напряжения подаются на измерительный прибор магнитоэлектрической системы навстречу друг другу, таким образом, измерительный прибор указывает разность напряжений.

Компарирующий элемент прибора конструктивно выполнен так же, как и датчик. Величина магнитного потока в его сердечнике, а следовательно, и напряжение во второй катушке его регулируется пластиной из мягкого железа, которая перемещается в направляющих с помощью микрометрического винта, перемещением пластины уравновешивается схема. Перед производством измерения датчик устанавливается на эталонную деталь, имеющую известную и требуемую твердость.

С помощью компарирующего элемента прибор устанавливается на данную твердость (показания на шкале прибора должны соответствовать твердости детали). После этого можно производить измерения.

Для измерения датчик устанавливается на измеряемую деталь, при этом, если твердость детали будет больше или меньше твердости эталонной детали, то соответственно она будет иметь другую магнитную проницаемость, в сердечнике изменится магнитный поток, следовательно, изменится ЭДС, индуктируемая во второй катушке, уравновешенность системы нарушится и подвижная система измерительного прибора отклонится в ту или другую сторону и укажет твердость измеряемой детали. Причем чем больше твердость измеряемой детали отличается от эталонной, тем больше отклоняется подвижная система измерителя.

Шкалу прибора градуируют в единицах твердости. Для производства отсчета на приборе следует нажать на кнопку К. Прибор показывает только при нажатии на кнопку, т. к. при

отсутствии изделия под датчиком схема оказывается резко не скомпенсированной и через измерительный прибор может пройти не допустимо большой ток. Чтобы избежать этого, магнитоэлектрический прибор включается только после установки детали путем нажатия на кнопку К.

При массовом контроле однотипных деталей для удобства определения годных деталей по твердости можно на шкале поставить пределы максимальной и минимальной твердости.

Важным условием стабильности в показаниях прибора является стабильность питающего напряжения и жесткость установки датчика на детали.

Прибор снабжается датчиками, нижняя поверхность которых выполнена в соответствии с поверхностями измеряемых деталей. Датчики с помощью длинного шнура и четырехштырковой буксы подключаются к измерительной коробке, где расположен измеритель и компарирующий элемент. На верхней крышке коробки установлено два магнитоэлектрических прибора: один миллиамперметр для грубой настройки прибора, второй микроамперметр для произведения измерения.

Шкала микроамперметра градуируется в единицах твердости.

Для обеспечения безусловной компенсации вторичного напряжения датчика в цепь питания датчика включено переменное сопротивление на 1500 ом, которым можно регулировать ток в первой катушке датчика при замене одного датчика другим.

На чертеже показана принципиальная схема прибора. (Рис. 1).

На фотографии показан общий вид выполненного прибора. (Рис. 2)

Считаем, что данный прибор может найти применение на промышленных предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **М. В. Дехтяр, В. Н. Миловицкая, В. Н. Шур.** Определение состояния мартенсита по магнитной проницаемости. Вестник машиностроения № 12, 1949 год.

СОДЕРЖАНИЕ

3М00602. Заказ № 4128. Тираж 500 экз. Подписано в печ. 5/I-60 г.
Формат бумаги 60×92/16. Объем 15 печ. л.
Цена 10 руб. 50 коп. + 1 руб. переплет.
г. Ульяновск, тип. облуправления культуры.



Цена 11 руб. 50 коп.